

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL  
CONCRETO CON INCLUSIÓN DE FIBRAS  
METÁLICAS Y CEMENTO PORTLAND TIPO I**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**FERNANDO SÁNCHEZ ALVARADO**

**LIMA - PERÚ**

**Digitalizado por:**

**2009**

## **DEDICATORIA**

*A mi esposa Yuliana por la comprensión, apoyo mutuo y perseverancia durante el tiempo de realización de ésta investigación.*

*A mis hijas Zisariy Daniela y Andrea Letizia, por demostrarme cada día que siendo tan pequeñas hacen cosas grandes, y darme fuerzas para seguir adelante.*

*A mis padres, Epina y Fermín; por darme la vida, por ser forjadores de mi educación y desarrollo, para ellos mi mayor gratitud.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Ing. Carlos Barzola Gastelú, asesor de la presente investigación; quien con su paciencia y vocación de docente e investigador, me brindó su tiempo desmedidamente durante el desarrollo del presente trabajo.*

*A mis hermanas Patricia y Karina, a mi tía María Gabriela, a mi prima María Rosario, por el apoyo moral para la realización de este trabajo.*

*A mis amigos Juan Carlos, Saúl, Cristian y Eder, que sin su ayuda no hubiera sido posible culminar este trabajo.*

*Al laboratorio de ensayos de materiales de la UNI, personal administrativo y los técnicos Montes, Aroste, Ponte, Mejía y Ruiz.*

*Y a todos los que me apoyaron para que se haga realidad este trabajo.*

F.S.A.

## ÍNDICE

### RESUMEN

### LISTA DE CUADROS

### LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

### INTRODUCCIÓN

<b>CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Fibra Metálica.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Tipos de fibras.....	2
1.1.3 Características mecánicas.....	4
1.2 La fibra Metálica Dramix.....	5
1.2.1 Aplicaciones.....	6
1.3 Obras realizadas en Perú con el uso de fibras metálicas.....	7
1.4 Obras realizadas en el extranjero con el uso de fibra metálica.....	7
1.5 Ventajas y desventajas.....	7
1.5.1 Ventajas.....	7
1.5.2 Desventajas.....	7
<b>CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>8</b>
2.1 Cemento.....	8
2.1.1 Cemento (Sol Tipo I) .....	8
2.1.2 Química básica del cemento.....	8
2.1.3 Hidratación del cemento.....	9
2.1.4 Estructura del cemento hidratado.....	9
2.1.5 Finura del cemento.....	9
2.2 Agregado Fino.....	10
2.2.1 Características Generales.....	10
2.2.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 - ASTM C33).....	10
2.2.3 Módulo de Finura (NTP 400.011).....	11
2.2.4 Superficie Específica (NTP 400.012 – ASTM C136).....	11
2.2.5 Peso Específico (NTP 400.022 - ASTM C 128).....	13
2.2.6 Porcentaje de Absorción.....	13
2.2.7 Contenido de Humedad (ASTM 70-79).....	14
2.2.8 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29).....	14
I.Peso unitario suelto.....	14

II. Peso unitario compactado.....	14
2.2.9 Material que pasa la malla N° 200 (75 µm): (NTP 400.018).....	15
2.3 Agregado Grueso.....	16
2.3.1 Características Generales.....	16
2.3.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 - ASTM C33).....	16
2.3.3 Módulo de Finura (NTP 400.011).....	17
2.3.4 Superficie Específica (NTP 400.012 – ASTM C136).....	17
2.3.5 Peso Específico (NTP 400.022 - ASTM C 128).....	19
2.3.6 Porcentaje de Absorción.....	19
2.3.7 Contenido de Humedad (ASTM 70-79).....	19
2.3.8 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29).....	19
I. Peso unitario suelto.....	19
II. Peso unitario compactado.....	20
2.4 Agregado Global.....	21
2.4.1 Generalidades.....	21
2.4.2 Peso Unitario Compactado.....	21
2.5 Fibra Metálica.....	25
2.5.1 Características Generales.....	25
2.5.2 Características geométricas de las Fibras de Acero.....	25
2.5.3 Aplicaciones de la fibra metálica.....	26
2.6 Agua.....	27
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO DE MEZCLAS.....</b>	<b>28</b>
3.1 Generalidades.....	28
3.2 Diseño de Mezclas.....	28
3.2.1 Datos para el diseño.....	28
3.2.2 Procedimiento para el diseño de mezcla.....	29
3.2.3 Determinación de la relación de agregados, de acuerdo al ensayo de máxima compactad.....	29
3.3 Diseño de Mezcla Preliminar.....	33
3.3.1 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.40.....	35
A. Diseño de 1m <sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48 kg.....	35
B. Determinación de la cantidad de agua para la relación	

a/c 0.40.....	35
3.3.2 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.45.....	36
A. Diseño de 1m <sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48 kg.....	36
B. Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c 0.45.....	36
3.3.3 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.50.....	37
A. Diseño de 1m <sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48 kg.....	37
B. Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c 0.50.....	37
3.4 Diseño de Mezcla Patrón.....	38
3.4.1 Diseño Patrón con relación a/c = 0.40.....	38
3.4.2 Diseño Patrón con relación a/c = 0.45.....	39
3.4.3 Diseño Patrón con relación a/c = 0.50.....	40
3.4.4 Cuadro de resumen de diseños de mezclas Patrón.....	40
3.5 Diseño Mezcla Patrón con Fibra de acero.....	41
3.5.1 Diseño de mezcla Patrón con fibra metálica Dramix RC 65/60 BN.....	42
A.1 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.40.....	42
A.2 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.45.....	42
A.3 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.50.....	42
3.5.2 Diseño de mezcla Patrón con fibra metálica Dramix RC 80/60 BN.....	43
B.1 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.40.....	43
B.2 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.45.....	43
B.3 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.50.....	43
3.5.3 Cuadro Resumen de diseños de diseños de mezcla Patrón con fibras metálicas (RC 65/60 BN y RC 80/60 BN).....	44
<b>CAPÍTULO 4: ENSAYOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 Ensayos al concreto en estado fresco.....	45
4.1.1 Consistencia (NTP 339.035 – ASTM C413).....	45

4.1.2	Fluidez (NTP 339.085).....	45
4.1.3	Peso Unitario (NTP 339.046 – ASTM C138).....	46
4.1.4	Exudación (NTP 339.077 – ASTM C232).....	46
4.1.5	Tiempo de Fraguado (NTP 339.082 – ASTM C40).....	46
4.1.6	Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco.....	46
4.2	Ensayos al concreto en estado endurecido.....	54
4.2.1	Resistencia a la Compresión (NTP 339.034 – ASTM C39).....	54
4.2.2	Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084 – ASTM C496).....	54
4.2.3	Resistencia a la Flexión (NTP 339.078).....	55
4.2.4	Módulo Elástico Estático (ASTM C496).....	56
4.2.5	Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido...	56
 <b>CAPÍTULO 5: CUADROS COMPARATIVOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>		<b>69</b>
5.1	Generalidades.....	69
5.2	Cuadros y gráficos comparativos.....	69
5.2.1	Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado fresco.....	69
5.2.2	Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado endurecido.....	79
5.3	Análisis de los resultados.....	88
5.3.1	Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco.....	88
5.3.2	Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado endurecido.....	95
5.4	Análisis de Costo.....	105
5.4.1	Introducción.....	105
5.4.2	Análisis de costo para $a/c = 0.40$ .....	105
5.4.3	Análisis de costo para $a/c = 0.45$ .....	110
5.4.4	Análisis de costo para $a/c = 0.50$ .....	115
5.4.5	Análisis de la variación COSTO – RESISTENCIA.....	120
 <b>CAPÍTULO 6: FISURACIÓN.....</b>		<b>122</b>
6.1	Generalidades.....	122

6.2 Descripción del fenómeno de contracción.....	122
6.3 La contracción en el concreto.....	124
6.4 La prueba del anillo.....	126
6.5 Ensayos y Análisis de los resultados.....	127
6.5.1 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón.....	127
6.5.2 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón con fibra metálica 1 RC 65/60 BN.....	127
6.5.3 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón con fibra metálica 2 RC 80/60 BN.....	127
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>130</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>133</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>137</b>



## RESUMEN

La presente investigación busca comparar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de 3 relaciones agua/cemento y variando el tipo de fibra metálica en 3 dosificaciones.

Para poder inicial las comparaciones se empezó con el diseño patrón de cada relación a/c, el cual sirvió de base principal para poder compararla con la variación de la dosificación de cada fibra para cada diseño.

Así mismo se expone las propiedades de los materiales usados en la investigación, para lo cual los agregados (fino y grueso) fueron ensayados para conocer sus propiedades, mientras que las propiedades del cemento y fibras metálicas fueron provistas por los fabricantes.

Para poder realizar el diseño de mezcla del concreto patrón, primero hemos tenido que encontrar el porcentaje de arena y piedra que intervienen en el agregado global, fue a través del ensayo de máxima compactación y ensayos de resistencia a la compresión realizados a los 7 días con el cual determinamos dicha relación de arena/piedra, para una relación de agua/cemento de 0.40.

Obtenida ya la relación arena/piedra, procedemos a realizar el diseño de mezcla para las 3 relaciones de agua/cemento (0.40, 0.45 y 0.50); con el método del agregado global, y posteriormente agregaremos la fibra metálica en 3 dosificaciones (10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20 kg/m<sup>3</sup>).

Obtenidos los diseños de mezcla patrón y las dosificaciones de la fibra metálica, se realizan los concretos en el laboratorio y se tomarán los datos para las propiedades del concreto en estado fresco, y las propiedades del concreto en estado endurecido.

### LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1.1	Propiedades de las fibras	3
Cuadro 2.1.1	Componentes del cemento	8
Cuadro 2.2.1	Granulometría del agregado fino (promedio)	10
Cuadro 2.3.1	Granulometría del agregado grueso (promedio)	16
Cuadro 2.3.2	Cuadro resumen de las propiedades de los agregados	20
Cuadro 2.4.1	HUSOS DIN 1045	21
Cuadro 2.4.2	Combinación de agregados mediante el peso unitario compactado del agregado global	22
Cuadro 2.4.3	Granulometría del agregado global	23
Cuadro 2.5.1	Requisitos de calidad N.T.P. 339.088	27
	Combinación de agregados mediante el peso unitario compactado del agregado global	30
Cuadro 3.3.1	Ensayo a compresión a los 7 días de curado	31
Cuadro 3.3.2	Ensayo a compresión a los 7 días de curado	31
Cuadro 3.4.1	Propiedades de los agregados empleados para el diseño de concreto	34
Cuadro 4.1.1	Ensayo del concreto al estado fresco (cuadro resumen)	47
Cuadro 4.2.1	Ensayo de resistencia a la compresión	57
Cuadro 4.2.2	Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral	58
Cuadro 4.2.3	Ensayo de flexión de vigas	59
Cuadro 4.2.4	Ensayo de módulo de elasticidad estático (MEE)	60
Cuadro 5.1.1	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, asentamiento y fluidez	70
Cuadro 5.1.2	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, peso unitario	71
Cuadro 5.1.3	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, exudación y tiempo de fragua	72
Cuadro 5.2.1	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, ensayo de resistencia a la compresión	79
Cuadro 5.2.2	Análisis comparativo respecto a la compresión a los 28 días, ensayo de resistencia a la compresión	80
Cuadro 5.2.3	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral	81
Cuadro 5.2.4	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, ensayo	

	de resistencia a la flexión	82
Cuadro 5.2.5	Análisis comparativo respecto al concreto patrón, ensayo de módulo de elasticidad estático (MEE)	83
Cuadro 5.3.1	Costo del concreto patrón - $a/c = 0.40$	106
Cuadro 5.3.2	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	106
Cuadro 5.3.3	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	106
Cuadro 5.3.4	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 20kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	107
Cuadro 5.3.5	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	107
Cuadro 5.3.6	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	107
Cuadro 5.3.7	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 20kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.40$	107
Cuadro 5.3.8	Costo del concreto patrón - $a/c = 0.45$	110
Cuadro 5.3.9	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	111
Cuadro 5.3.10	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	111
Cuadro 5.3.11	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 20kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	111
Cuadro 5.3.12	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	111
Cuadro 5.3.13	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	112
Cuadro 5.3.14	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 20kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.45$	112
Cuadro 5.3.15	Costo del concreto patrón - $a/c = 0.50$	115
Cuadro 5.3.16	costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.50$	116
Cuadro 5.3.17	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - $a/c = 0.50$	116
Cuadro 5.3.18	Costo del concreto patrón con fibra 1 (RC 65/60 BN -	

	20kg/m <sup>3</sup> ) - a/c = 0.50	116
Cuadro 5.3.19	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 10kg/m <sup>3</sup> ) - a/c = 0.50	116
Cuadro 5.3.20	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 15kg/m <sup>3</sup> ) - a/c = 0.50	117
Cuadro 5.3.21	Costo del concreto patrón con fibra 2 (RC 80/60 BN - 20kg/m <sup>3</sup> ) - a/c = 0.50	117
Cuadro 6.1.1	Tiempo de fisuración del concreto patrón	127
Cuadro 6.1.2	Tiempo de fisuración del concreto patrón con fibra metálica 1 RC 65/60 BN	128
Cuadro 6.1.3	Tiempo de fisuración del concreto patrón con fibra metálica 2 RC 80/60 BN	129

### LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1.1.1	Tipos de fibras	3
Figura 1.1.2	Curva tensión – deformación	4
Gráfico 2.2.1	Análisis granulométrico Agregado fino (resultante)	12
Gráfico 2.3.1	Análisis granulométrico Agregado grueso (resultante)	18
Gráfico 2.4.1	Máxima densidad del agregado global	22
Gráfico 2.4.2	Análisis granulométrico del agregado global	23
Gráfico 3.3.1	Máxima densidad del agregado global	30
Gráfico 3.3.2	Resistencia a la compresión a los 7 días vs relación arena/piedra	31
Gráfico 3.3.3	Superposición de gráficas para obtener la mejor combinación de agregados y a la vez con una buena resistencia	32
Figura 4.2.1	Ensayo de resistencia a la flexión	55
Gráfico 4.2.1	Resistencia a la compresión $a/c = 0.40$	61
Gráfico 4.2.2	Resistencia a la compresión $a/c = 0.45$	62
Gráfico 4.2.3	Resistencia a la compresión $a/c = 0.50$	63
Gráfico 4.2.4	Resistencia a la tracción por compresión diametral vs. relación $a/c$	64
Gráfico 4.2.5	Resistencia a la flexión en vigas vs. relación $a/c$	65
Gráfico 4.2.6	Módulo de elasticidad estático $a/c = 0.40$ (28 días)	66
Gráfico 4.2.7	Módulo de elasticidad estático $a/c = 0.45$ (28 días)	67
Gráfico 4.2.8	Módulo de elasticidad estático $a/c = 0.50$ (28 días)	68
Gráfico 5.1.1	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 1 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.40$	73
Gráfico 5.1.2	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 2 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.40$	74
Gráfico 5.1.3	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 1 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.45$	75
Gráfico 5.1.4	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 2 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.45$	76

Gráfico 5.1.5	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 1 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.50$	77
Gráfico 5.1.6	Variación de los ensayos del concreto en estado fresco respecto al concreto patrón vs. cantidad de fibra metálica (fibra 2 – RC 65/60 BN) $a/c = 0.50$	78
Gráfico 5.2.1	Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a la compresión ( $f_c$ ) (42 días)	84
Gráfico 5.2.2	Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral ( $f_t$ )	85
Gráfico 5.2.3	Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de resistencia a flexión (MR) (28 días)	86
Gráfico 5.2.4	Análisis comparativo respecto al concreto patrón ensayo de módulo de elasticidad estático (MEE) (28 días)	87
Gráfico 5.3.1	Análisis del costo respecto del concreto patrón variación del costo y la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	108
Gráfico 5.3.2	Análisis de la resistencia respecto del concreto patrón - variación de la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	109
Gráfico 5.3.3	Análisis del costo respecto del concreto patrón variación del costo y la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	113
Gráfico 5.3.4	Análisis de la resistencia respecto del concreto patrón - variación de la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	114
Gráfico 5.3.5	Análisis del costo respecto del concreto patrón variación del costo y la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	118
Gráfico 5.3.6	Análisis de la resistencia respecto del concreto patrón - variación de la resistencia respecto a la dosificación de fibra metálica (42 días)	119

## INTRODUCCIÓN

Se conoce las diferentes aplicaciones y ventajas del concreto con fibras metálicas utilizados en otros países, sin embargo en el Perú se ha empezado a fabricar y vender el concreto con la fibra metálica, más es desconocido en muchos criterios de dosificación y elaboración, es de ahí donde parte la idea de realizar la siguiente tesis de estudio de las propiedades del concreto con fibras metálicas.

La presente investigación trata de buscar una metodología para obtener concretos con 3 diseños de mezcla. Para cada diseño de mezcla se utiliza 2 tipos de fibras metálicas, las cuales son RC 65/60 BN y RC 80/60 BN; además de que para cada tipo de fibra metálica se usó la siguiente dosificación 10kg/m<sup>3</sup>, 15 kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup>.

El concreto debe tener un asentamiento en el rango de 3" – 4" usando cemento Portland tipo I.

Asimismo se expone las propiedades de los diferentes materiales usados en la investigación, para lo cual los agregados (fino y grueso) fueron ensayados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales para conocer sus propiedades físicas, mientras que las propiedades del cemento y los 2 tipos de fibras metálicas utilizados en la fabricación de cada diseño de concreto, fueron provistas por los fabricantes.

Además en la presente investigación se incluye ensayos realizados para los 3 diseños de mezcla, cada ensayo con la variación de la fibra metálica RC 65/60 BN y RC 80/60 BN, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

También se presenta las comparaciones de la fibra metálica a través de un ensayo denominado la prueba del anillo de Robert L'hermite, para poder apreciar el tiempo de fisuración de los anillos de concreto.

Finalmente se presenta un análisis de los ensayos realizados a los 3 diseños de mezclas con sus respectivas dosificaciones de fibra metálica, en el estado fresco y endurecido, así como también un análisis comparativo del costo de cada diseño de mezcla antes mencionada.

## **CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Fibra Metálica**

#### **1.1.1 Antecedentes**

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con materia cementosa – para unir bloques y losas de piedra; y así poder hacer sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Se utilizó pelo de animal en la construcción del coliseo romano, así como también se utilizó la paja en algunas construcciones de adobe.

Con el avance de la tecnología van apareciendo nuevos materiales para hacer frente al desarrollo de la construcción, el concreto con fibras, especialmente con fibras de acero, mejora alguna de sus propiedades, que tradicionalmente no tenía, para satisfacer exigencias en la construcción.

Las primeras sugerencias, en el sentido de que las propiedades del concreto podían mejorarse con la adición de fibras, fueron hechas por Porter (1910) y Ficklen (1914) en el Reino Unido, pero no es sino hasta 1963 cuando Romualdi y Batson ponen en evidencia la función en el concreto de las fibras metálicas como elementos inhibidores del agrietamiento.

En 1971 cuando en Estados Unidos se hicieron los primeros estudios e investigaciones dirigidos al uso del concreto consolidado con fibras, las que desde entonces han sido elementos indispensables en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concretos lanzados para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas y refractarios, entre otros usos.

La aparición en el mercado de nuevos tipos de fibras y su utilización para el refuerzo del concreto permite mejorar notablemente su calidad, propiedades y su comportamiento a los refuerzos y deformaciones.



El concreto reforzado con fibras de acero es una alternativa eficaz ante la necesidad de reforzar y mejorar el comportamiento estructural del concreto armado tradicional. Incorporando y distribuyendo homogéneamente fibras de acero en la matriz del concreto puede reducirse significativamente la fragilidad y con ello mejorar las propiedades mecánicas.

La orientación de la fibra también influye siendo máximo el beneficio cuando la fibra es unidireccional y paralela al esfuerzo de tracción aplicado y es de menor influencia cuando se orientan al azar en tres dimensiones.

### **1.1.2 Tipos de fibras**

Las fibras son elementos delgados que pueden ser:

- Naturales: Es decir compuesta por materiales que se encuentran en la naturaleza, tal como la celulosa, los asbestos, el algodón, etc.
- Artificiales: Que se logran luego de un proceso de fabricación, como las fibras metálicas, de vidrio, de polipropileno, etc.

En el cuadro 1.1.1, se muestra una comparación de las propiedades de algunos tipos de fibras

Las fibras de vidrio son muy utilizadas en paneles de fachadas más que nada con propósitos arquitectónicos o de revestimiento. También se usa para tabiques antifuego, muros anti ruido y como encofrados perdidos.

Las fibras de polipropileno se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados y para concretos proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de materia.

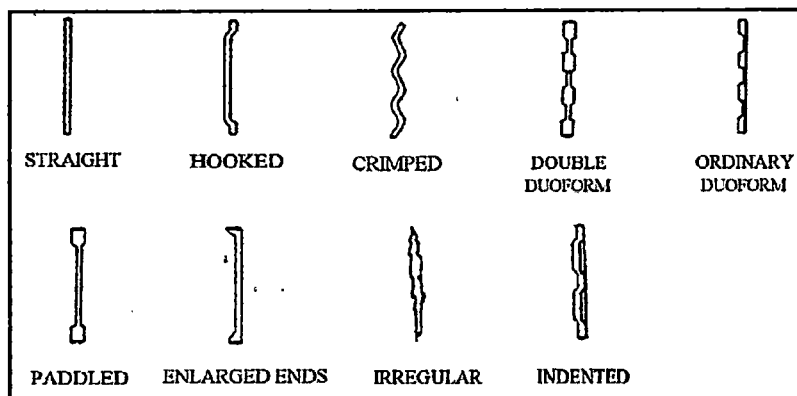
Las fibras metálicas resisten mayores cargas, por lo que se usa generalmente en losas industriales, pavimentos, etc. En el ítem de aplicación se detalla más el uso de la fibra metálica.

Las fibras metálicas suelen tener diversas formas, siendo la forma ondulada y forma ganchuda; las más comunes. Los aceros que se usan son aceros al Carbono ó inoxidables. Las fibras metálicas, son las que más se emplean en el refuerzo de concreto por ser las más eficaces. El acero de las fibras posee un módulo de elasticidad diez veces superior al del concreto si un refuerzo. Las fibras de acero presentan una buena adherencia a la pasta de cemento, algunos tipos de fibras se muestran en la figura 1.1.1

**CUADRO 1.1.1**  
**PROPIEDADES DE LAS FIBRAS**

Tipo de Fibra	Densidad	Resistencia a Tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Alargamiento %
Acero			200	0,5 a 3,5
Vidrio	7,84	500 a 2 000	70 a 80	2 a 3,5
Polipropileno	2,60	2 000 a 4 000	8 a 16	8
Carbono	0,90	400 a 700	230	1
Aramida	1,90	2 600	65 a 130	2,1 a 4

**FIGURA 1.1.1**  
**TIPOS DE FIBRAS**

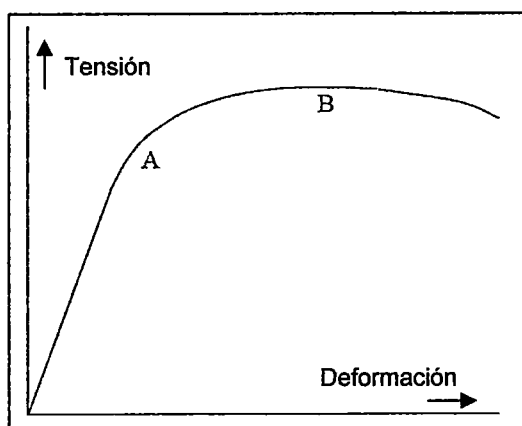


### 1.1.3 Características mecánicas

Las fibras se introducen en el concreto con el propósito de reforzar la matriz del concreto, así nos encontramos que mediante la adición de fibras dispersas en la masa del concreto y presentando una distribución uniforme, aparte de conferir al material una homogeneidad, ejercen una acción de refuerzo muy eficaz en la respuesta a determinadas acciones.

Cuando una pieza de concreto con fibras es sometida a flexión se observa varios tipos de comportamiento en la curva de tensión-deformación:

**FIGURA 1.1.2: CURVA TENSIÓN - DEFORMACIÓN**



Hasta el punto A se puede considerar que existe proporcionalidad entre la carga aplicada y la deformación originada, aplicando incrementos sucesivos de carga. A este punto se le denomina “tensión de primera fisura” ó “límite elástico”. Posteriormente aparece un nuevo punto B a partir del cual se produce una caída en la tensión. A este punto B se le denomina “tensión de rotura” ó “resistencia final”. En el concreto convencional, una vez fisurada la zona en tracción se produce la rotura de la pieza.

Antes de llegar a la tensión de primera fisura se puede suponer un comportamiento elástico, tanto para el concreto como para las fibras; ya que el módulo de elasticidad de las fibras es mayor que la del concreto (10 veces en el caso de fibras de acero), el incremento de volumen de fibras aumenta el límite elástico del compuesto. No obstante, este efecto es menor que en el caso del concreto armado convencional para el mismo volumen de acero y fibras uniformemente distribuidas.

Una vez sobrepasado el límite elástico, la curva tensión-deformación deja de ser lineal, alcanzando un máximo en el punto B. El fallo se produce generalmente por arrancamiento de las fibras, sin que éstas lleguen a alcanzar su tensión de rotura salvo en aquellos casos en que se mejora la adherencia de las fibras, con lo que algunas pueden llegar a la rotura.

Después de la carga máxima, la disminución de tensiones con el incremento de las deformaciones es mucho menor en el concreto armado con fibras que en el convencional y, por tanto, la energía absorbida antes de la rotura completa de la pieza ensayada es mucho mayor en el concreto de fibras que en uno convencional, dependiendo esta diferencia del volumen de fibras empleado.

Se produce, además, un importante aumento de la tenacidad, que se pone de manifiesto en la menor pendiente de la curva tensión-deformación del concreto de fibras respecto al convencional.

En las proximidades de la máxima carga de flexión, parte de la sección transversal de la pieza se agrieta y algunas de las fibras pueden sufrir deslizamientos parciales, dependiendo su cuantía, entre otras cosas, de que se haya mejorado por algún sistema la adherencia de las fibras. Por ello, no es posible predecir racionalmente la carga de rotura del concreto con fibras; sin embargo, basándose en los resultados experimentales y en las teorías de composición pueden lograrse aproximaciones empíricas.

Los factores que tienen mayor influencia en la carga máxima son el porcentaje en volumen de fibras y el aspecto (esbeltez) de las mismas.

## **1.2 La Fibra Metálica Dramix**

Para ésta investigación trabajamos con 2 tipos de la FIBRA DRAMIX, RC 65/60 BN y RC 80/60 BN.

La Fibra Dramix son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes, para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos.

El Dramix es una fibra de alambre estirado en frío, con extremos conformados y encolado en peines.

Las fibras se caracterizan:

- Longitud L: es la distancia entre las dos extremidades.
- Relación de forma L/d (longitud /diámetro medio).
- El esfuerzo máximo que puede soportar la fibra depende de su relación de forma.
- Diámetro (ó diámetro equivalente) De: es el diámetro del hilo, para las FIBRAS de sección transversal circular, ó es el diámetro del círculo de área igual a la de la sección transversal de la fibra ( $0,15 \leq D_e \leq 1,20$ ).
- Relación de aspecto  $\lambda = L/D_e$ : es la relación entre la longitud L y el diámetro De (ó diámetro equivalente).
- Resistencia a tracción: se refiere al hilo semielaborado ó el de la fibra
- Forma: fibras rectilíneas ó fibras amoldadas (longitudinalmente ó transversalmente).
- La fibra falla por tensión.
- La longitud de la fibra debe ser mayor que el tamaño máximo de las partículas de agregado.
- La adherencia mejora en fibras de superficie rugosa, extremos agrandados.

Un factor clave para valorar la calidad del concreto con fibras de acero, es la relación entre la longitud y el diámetro de las fibras. Cuánto más alta sea la relación l/d, mejor será el resultado.

### 1.2.1 Aplicaciones

El campo de aplicación de la fibra metálica es:

- Pavimentos para trabajo pesado (pavimentos viales, pavimentos portuarios, muelles de carga, centros de distribución), áreas de producción y centros comerciales.
- Pisos industriales (fábricas, almacenes)
- Losas de alta planicidad
- Pisos en aeropuertos
- Losas sin juntas
- Cámaras frigoríficas
- Losas de entrepisos para placas colaborantes (steel decks)
- Piezas prefabricadas de concreto

- Pisos ligeros
- Revestimiento de túneles, etc.

### **1.3 Obras realizadas en Perú con el uso de fibras metálicas**

Entre las obras realizadas en Perú tenemos:

- Piso industrial Almacén Delta II – Ransa Comercial S.A.
- Pavimento – Aeropuerto internacional Jorge Chávez
- Comportamiento a Fuerza Cortante de Muretes de Concreto Reforzados con Malla Electrosoldada, Acero Convencional y Fibra Metálica – Estudio PUCP

### **1.4 Obras realizadas en el extranjero con el uso de fibra metálica**

- Terminal de contenedores – Puerto de Algeciras - España
- Centro logístico Meco – Chile

### **1.5 Ventajas y desventajas**

#### **1.5.1 Ventajas**

- Aumento de la capacidad de carga, gracias a una mejor redistribución de las tensiones a las que está sometida la losa.
- El esfuerzo de la losa en todas direcciones garantiza un control eficaz de la fisuración.
- Reducción del costo total del proyecto; menor labor de instalación, menor tiempo de ejecución y menos consumo de barras de transferencia de carga (dowel).

#### **1.5.2 Desventajas**

- Probablemente se considere una desventaja el acabado que se tiene con las fibras metálicas, debido a que cuando el concreto queda endurecido; sobresalen las fibras (los extremos), que no ocasiona ningún riesgo, ya que dicho sobresaliente de la fibra es muy pequeño (aprox. 2mm).
- Que pueden ocasionarse cortes y/o rasguños al momento de manipularse el concreto, en el vaciado de la obra.

## CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE LOS MATERIALES

### 2.1 Cemento

En la actualidad se fabrican en el Perú; el cemento Tipo I.

#### 2.1.1 Cemento (Sol Tipo I)

El cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. El cemento utilizado en esta investigación fue el cemento Portland tipo I de la marca Sol.

#### 2.1.2 Química básica del cemento

Las materias primas empleadas para la elaboración de cemento Portland son principalmente cal, sílice, aluminio y óxido de hierro. Esos componentes actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos y aparte de un pequeño residuo de cal no combinado, que no tuvo suficiente tiempo para reaccionar, se logra un estado de equilibrio químico.

En el cuadro 2.1.1 se presentan los cuatro componentes principales del cemento:

**CUADRO 2.1.1 COMPONENTES DEL CEMENTO**

Nombre del componente	Composición oxida	Nomenclatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Aluminoferrato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

### **2.1.3 Hidratación del cemento**

El proceso de hidratación del cemento es un conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento. En presencia de agua los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación ó hidratos, que pasan del estado plástico al endurecido, con las propiedades inherentes en los nuevos productos formados.

### **2.1.4 Estructura del cemento hidratado**

Durante el proceso de hidratación, el volumen externo de la pasta se mantiene constante, sin embargo, internamente el volumen de los sólidos se incrementan constantemente con el tiempo, causando la reducción permanente de la porosidad, que está en relación inversa con la pasta endurecida y en forma directa con la permeabilidad. Para que se produzca la hidratación completa es necesario una cantidad suficiente de agua capaz de generar la reacción química, también se necesita proveer la estructura de vacíos ó espacios para los productos de hidratación, la temperatura adecuada y el tiempo necesario, desprendiéndose de aquí el concepto fundamental de curado, que consiste esencialmente en procurar unir estos cuatro elementos para que el proceso se complete.

### **2.1.5 Finura del cemento**

Al aumentar la finura del cemento, este se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, una más alta finura representa mayor velocidad en la generación del calor y mayor demanda de agua para mezclar el concreto, esto generará cambios volumétricos de los concretos y posibles agrietamientos en las estructuras.



## 2.2 Agregado Fino

### 2.2.1 Características Generales

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural ó artificial de las rocas. Podrá consistir en arena natural ó manufacturada, ó una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular; duro, compacto y resistente; libre de polvo, terrones, partículas escamosas ó blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto.

La arena con la cual se realizó la investigación, es una arena extraída de la cantera La Molina.

### 2.2.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 - ASTM C33)

El análisis granulométrico se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de agregados.

En el cuadro 2.2.1 se muestran los resultados promedio del análisis granulométrico realizado a 3 muestras de arena gruesa.

**CUADRO 2.2.1**  
**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (promedio)**

Malla	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
N° 4	32.50	6.50	6.50	93.50%	95.00	100.00
N° 8	84.17	16.83	23.33	76.67%	80.00	100.00
N° 16	114.17	22.83	46.17	53.83%	50.00	85.00
N° 30	95.17	19.03	65.20	34.80%	25.00	60.00
N° 50	90.00	18.00	83.20	16.80%	10.00	30.00
N° 100	51.33	10.27	93.47	6.53%	2.00	10.00
FONDO	32.67	6.53	100.00	0.00%		

### 2.2.3 Módulo de Finura (NTP 400.011)

Se define el módulo de fineza como la suma de los porcentajes acumulativos retenidos en las mallas de las series estandarizadas, dividido entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble del tamaño de la precedente.

Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son las siguientes: N° 100(150µm), N° 50(300µm), N° 30(600µm), N° 16(1.18mm), N° 8(2.36m), N° 4(4.75mm), 3/8" (9.50mm), 19.00mm, 37.50mm y aún mayores que se incrementan en la proporción de 2 a 1.

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Se realizaron tres ensayos granulométricos del agregado fino de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Módulo de Finura} = M.F._{\text{promedio}} = 3.18$$

### 2.2.4 Superficie Específica (NTP 400.012 – ASTM C136)

Se define como el área superficial total de las partículas de la arena gruesa, referido al peso ó al volumen absoluto.

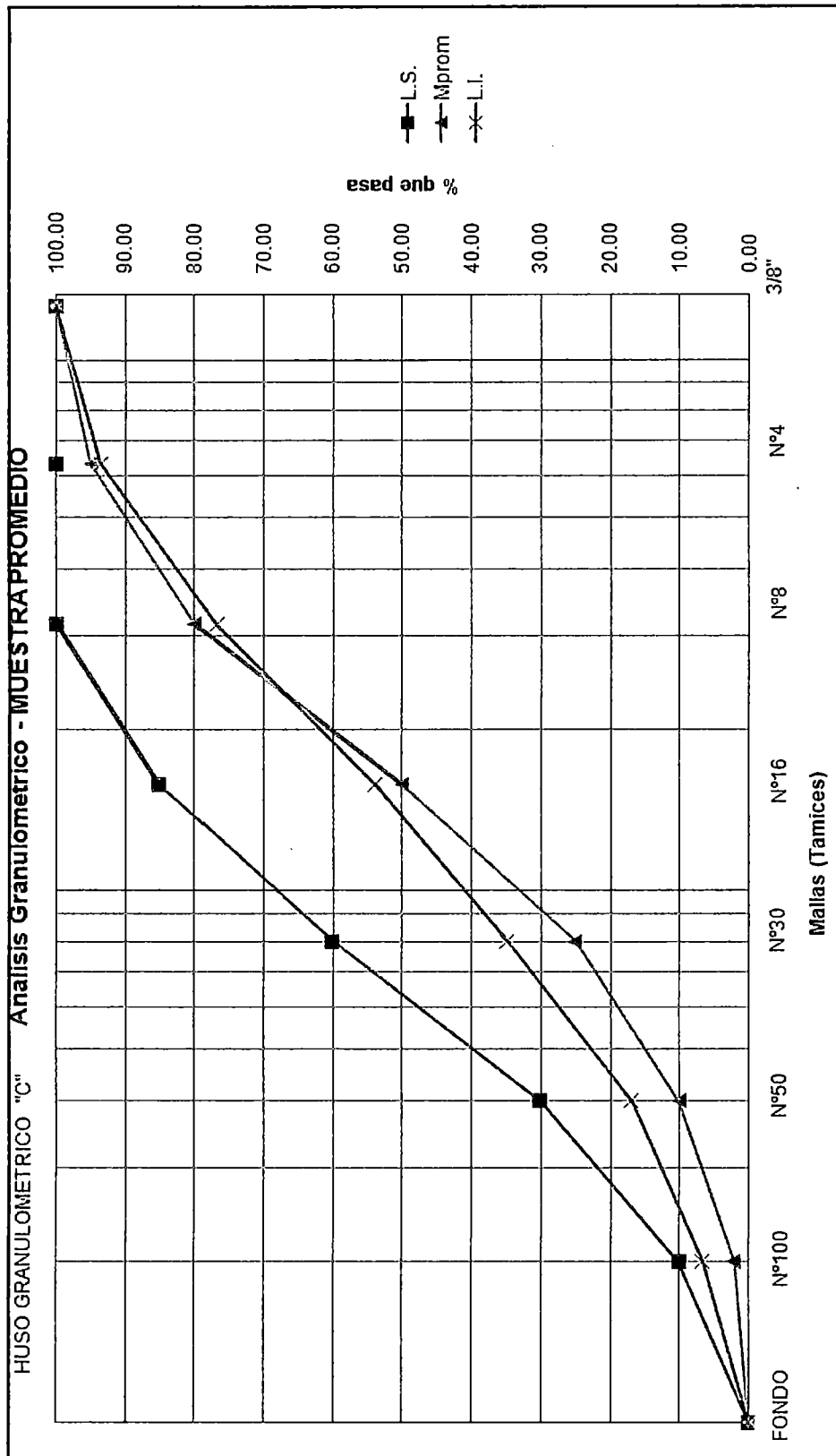
Su determinación se hace en base al análisis granulométrico, y corresponde a la suma de los porcentajes retenidos en los tamices estándares divididos entre los diámetros promedios de los mismos.

$$\text{Superficie específica} = \frac{6x \sum \text{total}}{100x \text{Peso específico}}$$

Para la arena se tiene:

$$\text{Superficie específica}_{\text{promedio}} = 43.51 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

**GRÁFICO 2.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (Resultante)**



### 2.2.5 Peso Específico (NTP 400.022 - ASTM C 128)

El peso específico es la relación de la masa (ó peso en aire) de una unidad de volumen de material respecto a una masa de agua del mismo volumen a una temperatura determinada, expresada en tres formas.

- **Peso específico de masa (G)**

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos todos los poros.

$$\text{Peso específico de masa (G)} = \frac{A}{V - W}$$

- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco (G<sub>sss</sub>)**

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado están llenos de agua.

$$\text{Peso específico de masa saturada superficialmente (G<sub>sss</sub>)} = \frac{500}{V - W}$$

- **Peso específico aparente (G<sub>a</sub>)**

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no los capilares.

$$\text{Peso específico aparente (G<sub>a</sub>)} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Donde:

V: Volumen de la Fiola

W: Peso del agua

A: Peso de la arena seca

Entonces para nuestra arena el **Peso específico de masa es: 2.57 g/cm<sup>3</sup>**

### 2.2.6 Porcentaje de Absorción

El porcentaje de absorción es la relación de la disminución de masa respecto a la masa de la muestra seca, se determina midiendo la disminución de masa de una muestra saturada y de superficie seca después de secarla en un horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C±5°C.

$$\text{Porcentaje de absorción (a\%)} = 100x \frac{500 - A}{A}$$

Donde:

A: Peso de la arena seca

Entonces para nuestra arena el **Porcentaje de absorción: 1.94%**

### 2.2.7 Contenido de Humedad (ASTM 70-79)

El contenido de humedad viene a ser el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (%).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{P \text{ humeda} - P \text{ seca}}{P \text{ seca}} \times 100$$

$$\text{Contenido de humedad}_{\text{promedio}} = 2.01\%$$

### 2.2.8 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29)

El peso unitario ó densidad de masa de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado, es decir la masa neta del agregado en el recipiente dividida entre el volumen del recipiente, expresado en kg/m<sup>3</sup>; representará el peso unitario para uno u otro grado de compactación.

La norma N.T.P. 400.017 reconoce dos grados de compactación los cuales son:

#### I. **Peso unitario suelto:**

Se llena de arena un recipiente metálico de 1/10 pie 3, al término del llenado se tiene que enrasar suavemente con la varilla metálica de 5/8" y se pesa. Para nuestra arena el peso unitario suelto es:

$$\text{Peso Unitario Suelto}_{\text{promedio}} = 1473.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

#### II. **Peso unitario compactado:**

Se llena de arena un recipiente metálico de 1/10 pie 3, se va llenando en tres capas, cada capa con 25 golpes que se distribuirán en forma de espiral sobre el agregado, la varilla con las que se realizará los golpes es de acero liso de 5/8" de diámetro y de 60cm de longitud con ambos extremos redondeados. El peso unitario compactado es:

$$\text{Peso Unitario Compactado}_{\text{promedio}} = 1736.30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### 2.2.9 Material que pasa la malla N° 200 (75 µm)- (NTP 400.018)

Este ensayo representa la cantidad de material fino, que tiene un tamaño menor a la abertura del tamiz N°200 equivalente a 75µm.

Este porcentaje se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (N° 200) por vía húmeda

P<sub>1</sub> = Peso seco de la muestra original (g)

P<sub>2</sub> = Peso seco de la muestra ensayada (g)

Con este ensayo se determina el porcentaje de materiales muy finos como es el limo, arcilla, etc., que se encuentran recubriendo a la arena gruesa, y dicha presencia de materiales altera los requerimientos de agua en el diseño de mezcla.

Para calcular el % que pasa la malla N°200, se detalla en el cuadro 2.2.10 los ensayos a 3 muestras:

$$\% \text{ QUE PASA LA MALLA N}^\circ 200_{\text{promedio}} = 6.27\%$$

## 2.3 Agregado Grueso

### 2.3.1 Características Generales

Se define como agregado grueso a aquel proveniente de la desintegración natural ó artificial de las rocas en una cantera.

### 2.3.2 Análisis Granulométrico (NTP 400.037 - ASTM C33)

El análisis granulométrico se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de agregados.

En el cuadro 2.3.1 se muestran los resultados promedios del análisis granulométrico realizado a 3 muestras de agregado grueso.

**CUADRO 2.3.1**  
**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (promedio)**

Malla	Peso Retenido g	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00%	90.00	100.00
3/4"	3557.00	71.14	71.14	28.86%	40.00	90.00
1/2"	1405.00	28.10	99.24	0.76%	15.00	45.00
3/8"	28.00	0.56	99.80	0.20%	0.00	15.00
N° 4	6.00	0.12	99.92	0.08%	0.00	5.00
FONDO	4.00	0.08	100.00	0.00%	0.00	0.00

### TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (NTP 400.037)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso se determina a partir de un análisis por tamices; y generalmente se acepta el que corresponde al tamiz inmediatamente superior a aquel en el cual queda 15% ó más de material acumulado retenido.

$$\text{TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL} = 1''$$

### 2.3.3 Módulo de Finura (NTP 400.011)

Se define el módulo de fineza como la suma de los porcentajes acumulativos retenidos en las mallas de las series estandarizadas, dividido entre 100. Las series estandarizadas consisten en mallas, cada una del doble del tamaño de la precedente:

Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son las siguientes:

Nº 100(150µm), Nº 50(300µm), Nº 30(600µm), Nº 16(1.18mm), Nº 8(2.36m), Nº 4(4.75mm), 3/8" (9.50mm), 3/4" (19.00mm), 37.50mm y aun mayores que se incrementan en la proporción de 2 a 1.

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Se realizaron tres ensayos granulométricos del agregado grueso, el resultado promedio es:

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = 7.704$$

### 2.3.4 Superficie Específica (NTP 400.012 – ASTM C136)

Se define como el área superficial total de las partículas de piedra, referido al peso ó al volumen absoluto.

Su determinación se hace en base al análisis granulométrico, y corresponde a la suma de los porcentajes retenidos en los tamices estándares divididos entre los diámetros promedios de los mismos.

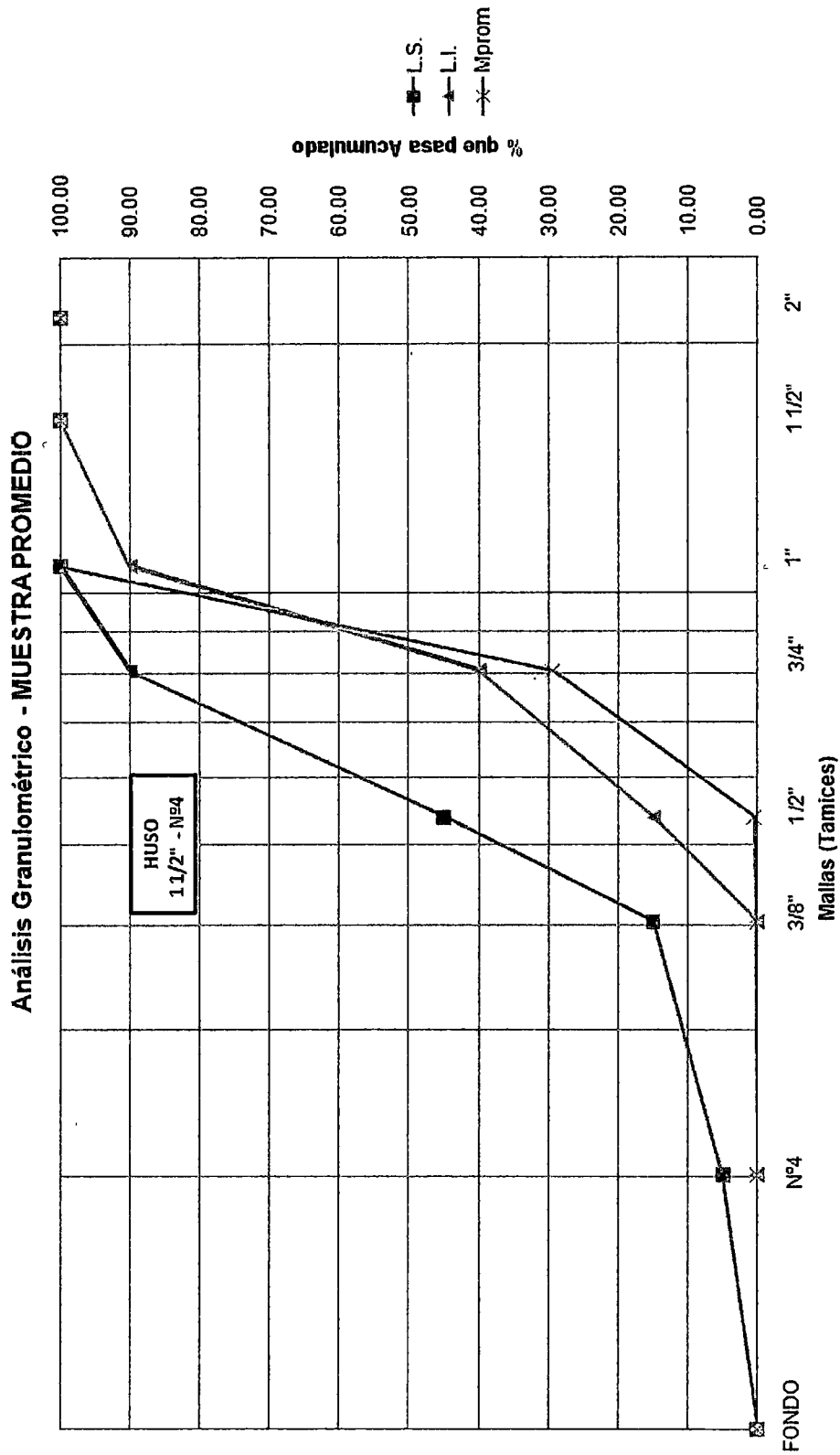
$$\text{Superficie específica} = \frac{6x \sum \text{total}}{100x \text{Peso específico}}$$

Para el agregado grueso se tiene:

$$\text{Superficie específica}_{\text{promedio}} = 1.12 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$



**GRÁFICO 2.3.1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (Resultante)**



### 2.3.5 Peso Específico (NTP 400.022 - ASTM C 128)

El peso específico del agregado grueso es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión).

El agregado grueso tiene un **Peso específico: 2.72 g/cm<sup>3</sup>**

### 2.3.6 Porcentaje de Absorción

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos internos en las partículas. Dicho fenómeno se produce por capilaridad, no llegando a llenar absolutamente los poros indicados, ya que siempre queda aire atrapado.

El agregado grueso tiene un **Porcentaje de absorción: 0.90%**

### 2.3.7 Contenido de Humedad (ASTM 70-79)

Se define como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (%).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{P_{\text{humeda}} - P_{\text{seca}}}{P_{\text{seca}}}$$

El agregado grueso tiene un:

$$\text{Contenido de humedad}_{\text{promedio}}(\%) = 2.01\%$$

### 2.3.8 Peso Unitario (NTP 400.017 – ASTM C 29)

El peso unitario es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen especificado, es decir la masa neta del agregado en el recipiente dividida entre el volumen del recipiente, expresado en kg/m<sup>3</sup>; representará el peso unitario para uno u otro grado de compactación.

El peso unitario de los agregados en los concretos de peso normal, entre 2000 y 2400 kg/m<sup>3</sup>, generalmente varía entre 1 500 y 1 700 kg/m<sup>3</sup>.

La norma N.T.P. 400.017 reconoce dos grados de compactación:

#### I. **Peso unitario suelto:**

Se llena el agregado grueso en balde metálico de 1/2 pie<sup>3</sup>, este llenado se realizará en una sola capa sin golpear ni chucear, al término del

llenado se tiene que enrasar suavemente con la varilla metálica de 5/8" y se pesa. El peso unitario suelto es:

$$\text{Peso Unitario Suelto}_{\text{promedio}} = 1371.39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## II. **Peso Unitario compactado:**

Se llena el agregado grueso en un recipiente metálico de 1/2 pie<sup>3</sup>, se va llenando en tres capas, cada capa con 25 golpes que se distribuirán en forma de espiral sobre el agregado, la varilla con las que se realizará los golpes es de acero liso de 5/8" de diámetro y de 60cm de longitud con ambos extremos redondeados. El peso unitario compactado es:

$$\text{Peso Unitario Compactado}_{\text{promedio}} = 1567.97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A continuación se presenta el cuadro resumen (Cuadro 2.3.2) de las propiedades físicas para el agregado fino y grueso.

**CUADRO 2.3.2**

**CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso específico de masa (g/cm <sup>3</sup> )	2574	2719
Peso específico de masa s.s.s (g/cm <sup>3</sup> )	2624	2744
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2709	2787
Porcentaje de Absorción (%)	1.94	0.90
Contenido de Humedad (%)	2.01	0.23
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1473.86	1371.39
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1736.30	1567.97
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	43.51	1.12
Módulo de Finura	3.18	7.70
Tamaño Máximo Nominal	-	1"

## 2.4 Agregado Global

### 2.4.1 Generalidades

Al agregado global, también se le conoce en el Perú como agregado integral, que viene a ser la selección adecuada de los agregados, y a su gradación correspondiente se le llama Granulometría Total, el cual se considera que las partículas de los agregados combinados sea tal que el volumen de vacíos sea mínimo.

A la combinación de agregados totales se le evalúa usando curvas teóricas y husos totales; como los HUSOS DIN 1045 (ver cuadro 2.4.1) para el agregado global.

**CUADRO 2.4.1**  
**HUSOS DIN 4188**

TAMIZ		% QUE PASA		
		I	II	III
63.00	mm	100.00	100.00	100.00
31.50	mm	67.00	80.00	90.00
16.00	mm	46.00	64.00	80.00
8.00	mm	30.00	50.00	70.00
4.00	mm	19.00	38.00	59.00
2.00	mm	11.00	30.00	49.00
1.00	mm	6.00	24.00	39.00
0.50	mm			
0.25	mm	2.00	7.00	14.00

### 2.4.2 Peso Unitario Compactado

Para lograr una óptima granulometría del agregado global, para el diseño de un concreto de calidad, trabajabilidad y economía; es necesario determinar las proporciones de agregado fino y agregado grueso de manera que obtengamos un agregado de mayor peso unitario compactado.

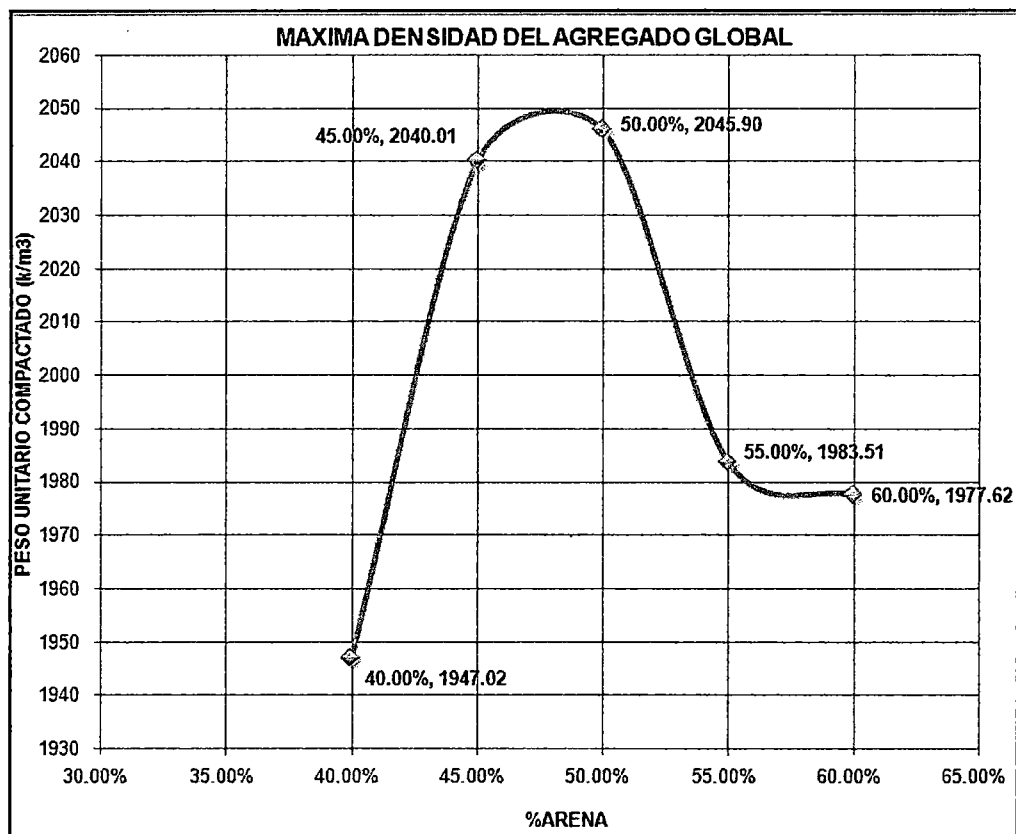
Dicha combinación de máxima densidad generará un volumen mínimo de vacíos, de tal manera que necesitaremos menos cantidad de pasta de cemento, esta condición garantiza la economía en el concreto.

Tomaremos muestras de los agregados, bajo diferentes proporciones, para obtener el mayor peso unitario compactado, como se observa en el Cuadro 2.4.2

**CUADRO 2.4.2**  
**COMBINACIÓN DE AGREGADOS MEDIANTE EL PESO UNITARIO**  
**COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL**

PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS		PUC (kg/m <sup>3</sup> )
ARENA (%)	PIEDRA (%)	
40	60	1947.02
45	55	2040.01
50	50	2045.90
55	45	1983.51
60	40	1977.62

**GRÁFICO 2.4.1: MÁXIMA DENSIDAD DEL AGREGADO GLOBAL**



Podemos observar en la Gráfico 2.4.1, que la mejor combinación de agregados para tener un máximo peso unitario compactado, se encuentra entre 45% y 50%

de agregado fino; por tal motivo consideraremos a este rango como un primer indicador de los porcentajes de participación de los agregados en la mezcla.

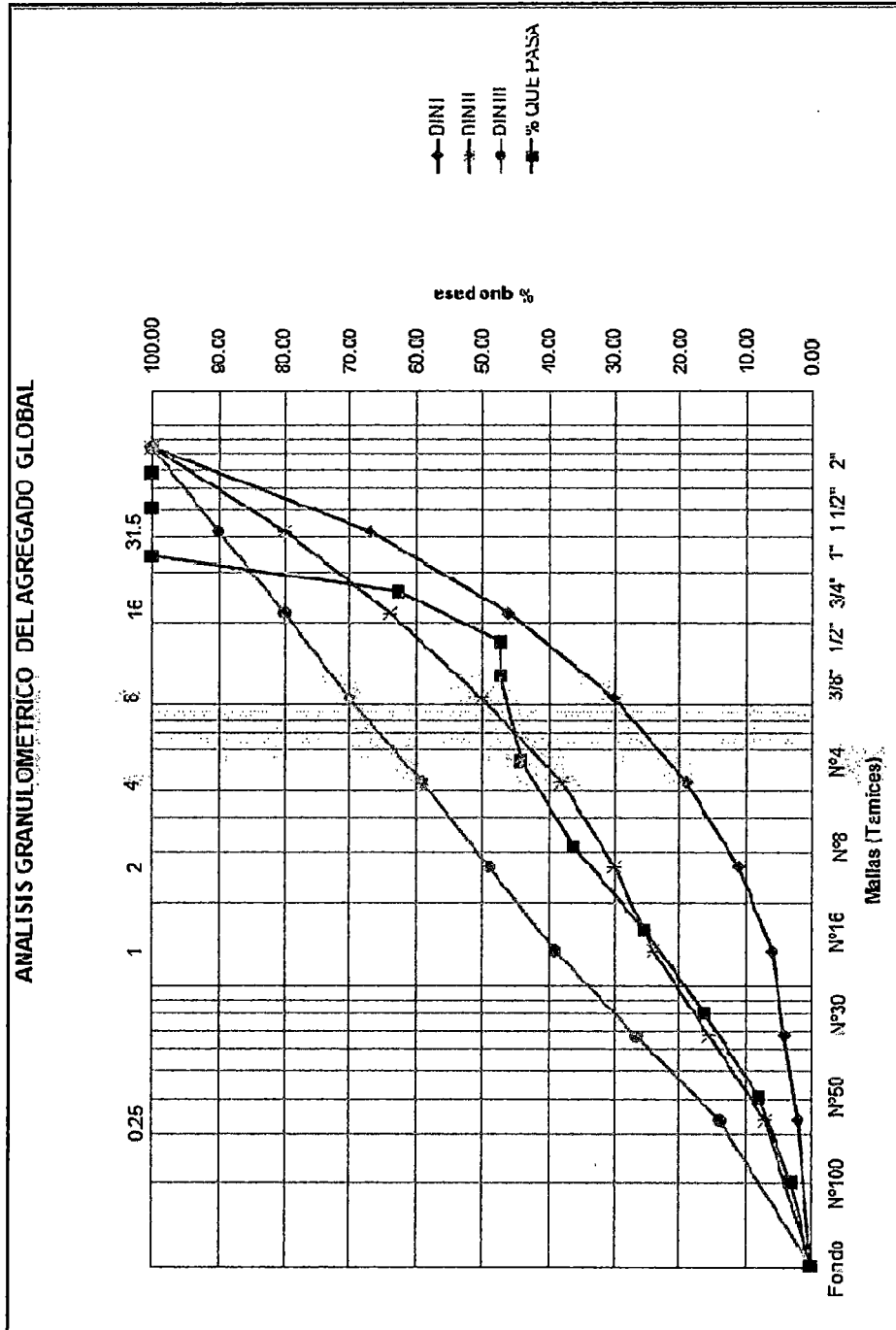
**CUADRO 2.4.3: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL**

Módulo de Finura = 5.58

Tamiz ASTM	Arena	Piedra	% Retenido	% Retenido	% Retenido global	% Retenido acumulado	% que pasa
	47.00%	53.00%	Arena	Piedra			
2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00%
1 1/2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00%
1"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00%
3/4"		70.57	0.00	37.40	37.40	37.40	62.60%
1/2"		28.92	0.00	15.33	15.33	52.73	47.27%
3/8"	0.00	0.35	0.00	0.18	0.18	52.91	47.09%
N° 4	6.50	0.13	3.06	0.07	3.13	56.04	43.96%
N° 8	16.83	0.03	7.91	0.02	7.93	63.97	36.03%
N° 16	22.83		10.73	0.00	10.73	74.70	25.30%
N° 30	19.03		8.95	0.00	8.95	83.64	16.36%
N° 50	18.00		8.46	0.00	8.46	92.10	7.90%
N° 100	10.27		4.83	0.00	4.83	96.93	3.07%
FONDO	6.53		3.07	0.00	3.07	100.00	0.00%

Y el módulo de finura para el agregado global es: **5.58**

**GRÁFICO 2.4.2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL**



## 2.5 Fibra Metálica

### 2.5.1 Características Generales

Para esta investigación se utilizaron 2 tipos de fibras metálicas, dichas fibras son las siguientes:

- Dramix RC 65/60 BN

Las fibras de acero encoladas con una relación l/d de 65 son fáciles de mezclar y utilizar, al mismo tiempo que proporcionan un hormigón con fibra de acero notablemente mejorado. Dramix l/d 65 es el compromiso ideal entre rendimiento, facilidad de mezclado y coste.

- Dramix RC 80/60 BN

Es ideal para aplicaciones que requieran un hormigón muy resistente, con especificaciones muy estrictas. Es llamada la fibra "SUPER RENDIMIENTO". Éstas fibras encoladas ofrecen lo mejor en ductilidad, absorción de energía y control de fisuras.

### 2.5.2 Características geométricas de las Fibras de Acero

Para la Fibra Dramix RC 65/60 BN:

- Longitud (L): 60mm
- Diámetro ó diámetro equivalente (De): 0.90mm
- Relación de aspecto  $\lambda = L/De$ : 67
- Resistencia a tracción: 1000 N/mm<sup>2</sup>

Para la Fibra Dramix RC 80/60 BN:

- Longitud (L): 60mm
- Diámetro ó diámetro equivalente (De): 0.75mm
- Relación de aspecto  $\lambda = L/De$ : 80
- Resistencia a tracción: 1050 N/mm<sup>2</sup>



### 2.5.3 Aplicaciones de la fibra metálica

El fabricante recomienda las fibras metálicas:

- RC 65/60 BN
  - Losas sobre pilotes vibrocompactados
  - Soleras impermeables a los líquidos
  - Soleras industriales
  - Capas de compresión
  - Pilotes
  
- RC 80/60 BN
  - Soleras sin juntas
  - Losas de terreno suspendidas
  - Soleras sin juntas sobre pilotes vibrocompactados
  - Soleras industriales
  - Losas sobre pilotes vibrocompactados
  - Soleras impermeables a los líquidos
  - Capas de compresión
  - Pavimentos
  - Dovelas

## 2.6 Agua

El agua es indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por tanto este componente debe cumplir con los requisitos de la NTP 339.088.

Una regla básica para saber si determinada agua sirve para la elaboración de concreto, es que dicha agua debe ser potable, ó mejor dicho debe ser apta para consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

Los requisitos que recomienda la norma NTP 339.088 se aprecia en el siguiente cuadro 2.5.1:

**CUADRO 2.5.1**  
**REQUISITOS DE CALIDAD N.T.P. 339.088**

Descripción	Límites permisibles
Sólidos en suspensión	5000 ppm Máximo
Materia orgánica	3 ppm Máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000 ppm Máximo
Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )	600 ppm Máximo
cloruros (ion Cl <sup>-</sup> )	1000 ppm Máximo
pH	5 a 8

Respecto a las características físico - químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, de óxido de carbono disuelto, etc.

Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos.

## CAPÍTULO 3: DISEÑO DE MEZCLAS

### 3.1 Generalidades

El diseño de mezcla de concreto, viene a ser la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos del proyecto constructivo.

Existen diversos métodos de diseño de mezcla de concreto, para la aplicación de estos métodos; se ha desarrollado en base a experiencias realizadas por los investigadores, diversas tablas y factores.

En la práctica, la experiencia ha demostrado que la aplicación de estas recomendaciones muchas veces no conducen a obtener resultados previstos por las tablas y/o factores, y todo esto es de esperarse ya que dichas recomendaciones y tablas utilizadas para los diseños de mezcla teóricos, han sido elaboradas con materiales y condiciones propias del medio en el cual fueron realizadas. Por lo tanto estos métodos y tablas constituyen solamente una guía base; a la que debemos realizar mezclas de prueba con los materiales que utilizemos, para que después de los correspondientes ajustes logremos determinar el diseño de mezcla final que cumpla con nuestros requerimientos.

En la presente investigación, para el diseño de mezcla se ha seguido la secuencia del método del Comité 211 del ACI; teniendo como variantes la determinación de las propiedades físicas de los agregados, así como también el porcentaje de intervención de estos agregados en el diseño de mezcla.

Las relaciones **agua/cemento** que han sido utilizadas en la presente investigación para el diseño de concreto son: **0.40, 0.45 y 0.50.**

### 3.2 Diseño de Mezclas

#### 3.2.1 Datos para el diseño

- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso
- Forma y textura del agregado grueso
- Peso específico de los agregados

- Contenido de humedad de los agregados
- Porcentaje de los agregados
- Proporción de los agregados

### **3.2.2 Procedimiento para el diseño de mezcla**

1. Elección de la relación agua/cemento
2. Elección de la consistencia
3. Estimación del contenido de aire atrapado por m<sup>3</sup> de concreto.
4. Cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto
5. Cálculo de la suma de volúmenes de agregado fino y grueso
6. Cálculo del peso seco por metro cúbico de los agregados fino y grueso, de acuerdo a las proporciones establecidas.
7. Cálculo de los volúmenes por metro cúbico de los agregados fino y grueso.
8. Corrección de los pesos de los agregados fino y grueso, por humedad natural de estos agregados
9. Corrección de la cantidad de agua de diseño por humedad de los agregados.
10. Para el diseño de una tanda de laboratorio se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para 48 kg de concreto.

Para la presente investigación se han elegido como diseños de mezcla patrón a las determinadas por la relación **agua/cemento = 0.40, 0.45, 0.50 con cemento Portland Tipo I, para un asentamiento entre 3" – 4"**

### **3.2.3 Determinación de la relación de agregados, de acuerdo al ensayo de máxima compactación**

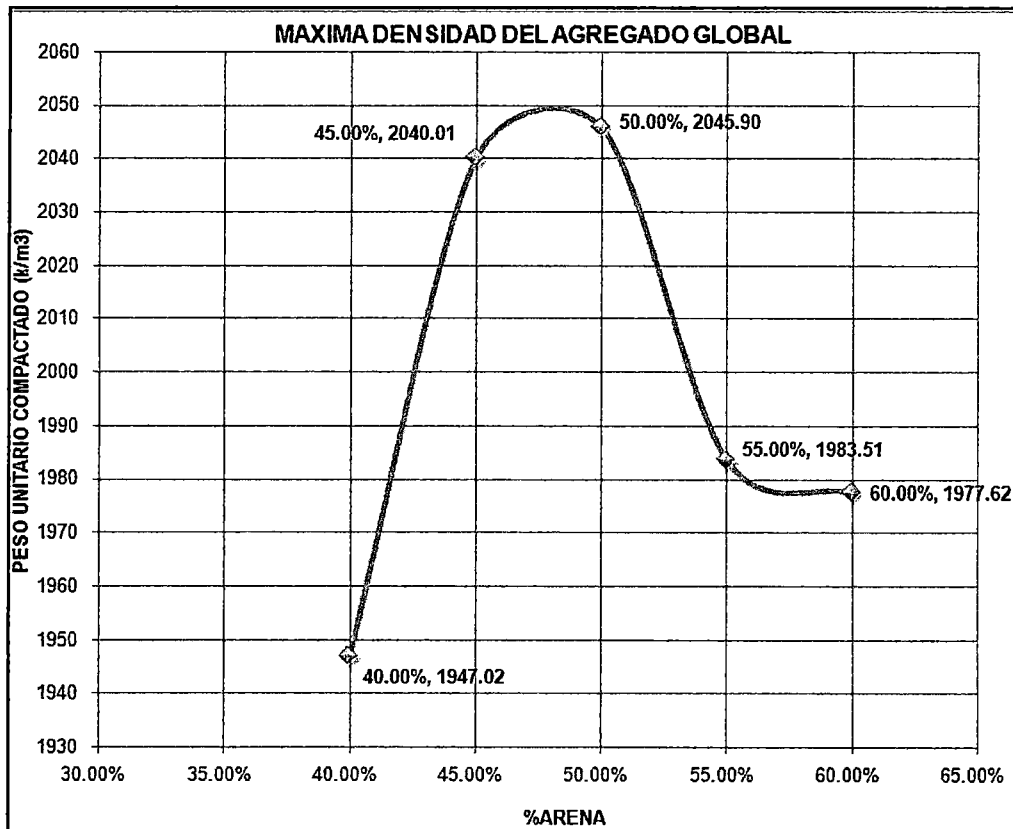
También conocido como el ensayo de mayor acomodo de los agregados en el concreto, el cual consiste en obtener la Óptima Proporción de Agregados con el Máximo Peso Unitario Compactado, pues con esta combinación logramos obtener la menor cantidad de vacíos en el concreto, por tal motivo se necesitará menos cantidad de pasta de cemento, esta condición garantizará la mayor economía en el concreto.

El criterio de diseño utilizado, será el de la mejor combinación de agregados, el cual fue determinada mediante el peso unitario compactado del Agregado Global. En el cuadro 3.3.1, se observará la variación del peso unitario compactado para las diferentes proporciones entre Arena y Piedra, en la Gráfico 3.3.1 se puede apreciar con mayor claridad; que el rango donde las proporciones de Arena y Piedra con mayor peso unitario compactado está entre 45% - 50%.

**CUADRO 3.3.1**  
**COMBINACION DE AGREGADOS MEDIANTE EL PESO UNITARIO**  
**COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL**

PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS		PUC (kg/m <sup>3</sup> )
ARENA (%)	PIEDRA (%)	
40	60	1947.02
45	55	2040.01
50	50	2045.90
55	45	1983.51
60	40	1977.62

**GRÁFICO 3.3.1 MÁXIMA DENSIDAD DEL AGREGADO GLOBAL**



Después que se halló el rango donde ocurre la mejor combinación para obtener el Máximo Peso Unitario Compactado del agregado global (como primer indicador), ahora tomaremos en cuenta la resistencia, para lo cual se procedió a diseñar variando el porcentaje de los agregados en dicho rango.

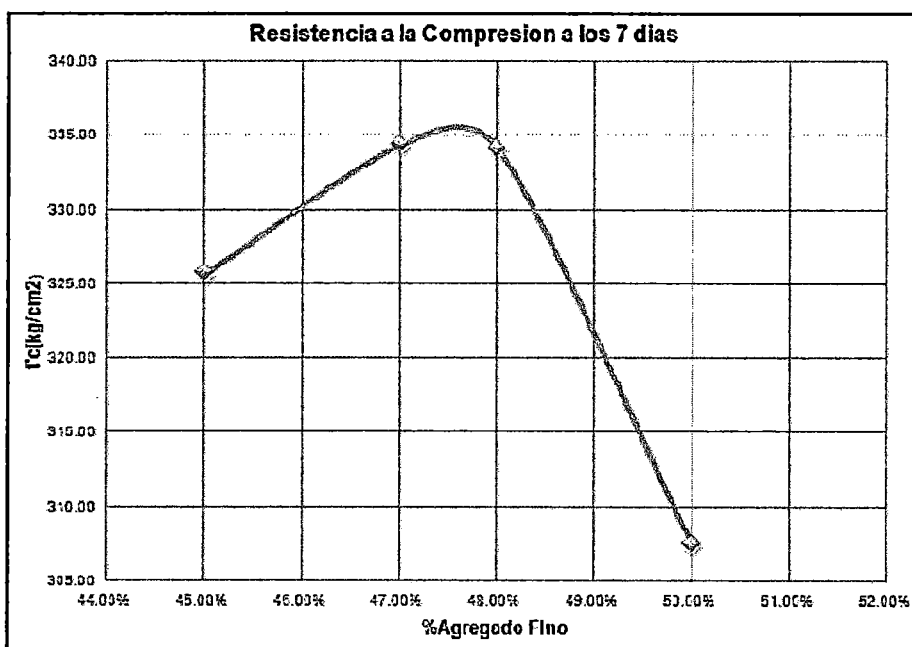
Para esta etapa de la investigación se realizó un diseño de mezcla con relación  $a/c = 0.40$  y las proporciones de agregado fueron:

% Arena	45	47	48	50
% Piedra	55	53	52	50

**CUADRO 3.3.2**  
**ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE CURADO**

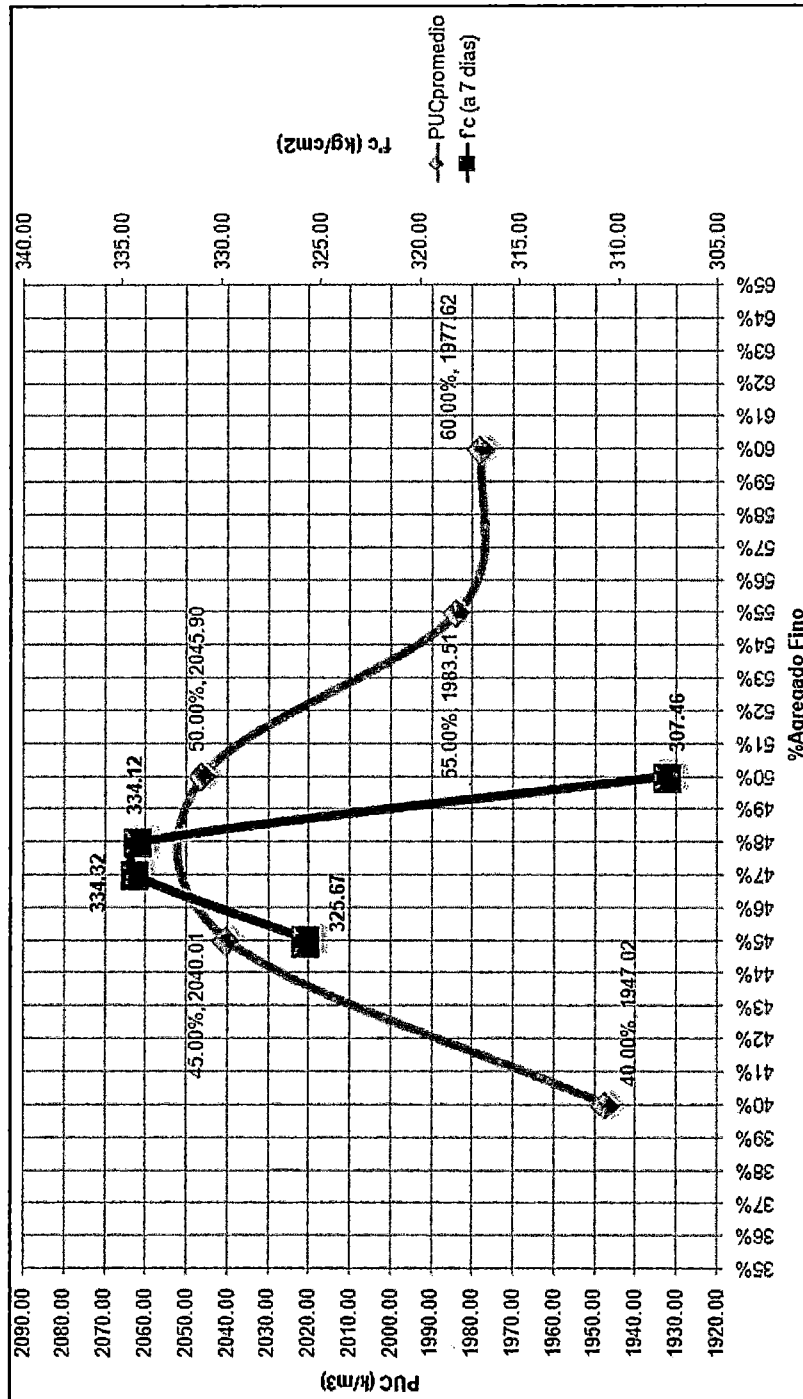
RELACIÓN ARENA	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
45.00%	325.67
47.00%	334.32
48.00%	334.12
50.00%	307.46

**GRÁFICO 3.3.2** RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS VS RELACIÓN ARENA/PIEDRA



Se puede observar en la Gráfico 3.3.2, que para la combinación de arena y piedra de 47/53, obtenemos la mayor resistencia, por lo tanto escogeremos dichos porcentajes para el diseño de mezcla de concreto.

**GRÁFICO 3.3.3 SUPERPOSICIÓN DE GRÁFICAS PARA OBTENER LA MEJOR COMBINACIÓN DE AGREGADOS Y A LA VEZ CON UNA BUENA RESISTENCIA**



**CUADRO 3.4.1**  
**PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS**  
**PARA EL DISEÑO DE CONCRETO**

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso específico de masa (Kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
Peso específico de masa s.s.s (Kg/m <sup>3</sup> )	2624	2744
Peso específico aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2709	2787
Porcentaje de Absorción (%)	1.94	0.90
Contenido de Humedad (%)	2.01	0.23
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1473.86	1371.39
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1736.30	1567.97
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	43.51	1.12
Módulo de Finura	3.179	7.704
Tamaño Máximo Nominal	-	1"
Módulo de Finura Agregado Global	5.577	

CEMENTO PORTLAND TIPO I – SOL	
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	3110



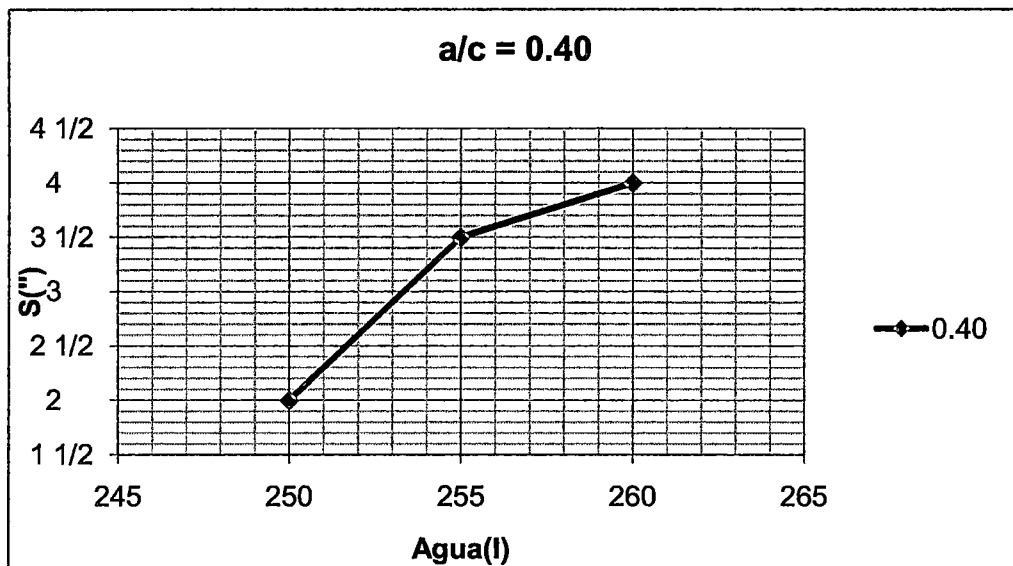
### 3.3.1 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.40

#### A. Diseño de 1m<sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48kg

Descripción	I1 = 250 litros	I2 = 255 litros	I3 = 260 litros
Tanda de 48 kg (laboratorio)			
Cemento	12.99	13.29	13.59
Agua	5.29	5.41	5.53
Arena	14.10	13.90	13.70
Piedra	15.62	15.40	15.18
Aire atrapado (%)			
asentamiento	2"	3 1/2"	4"

#### B. Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c 0.40

Con cada asentamiento obtenido de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c = 0.40, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Entonces se tiene que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3" – 4", para una relación a/c de 0.40 es: 260 litros

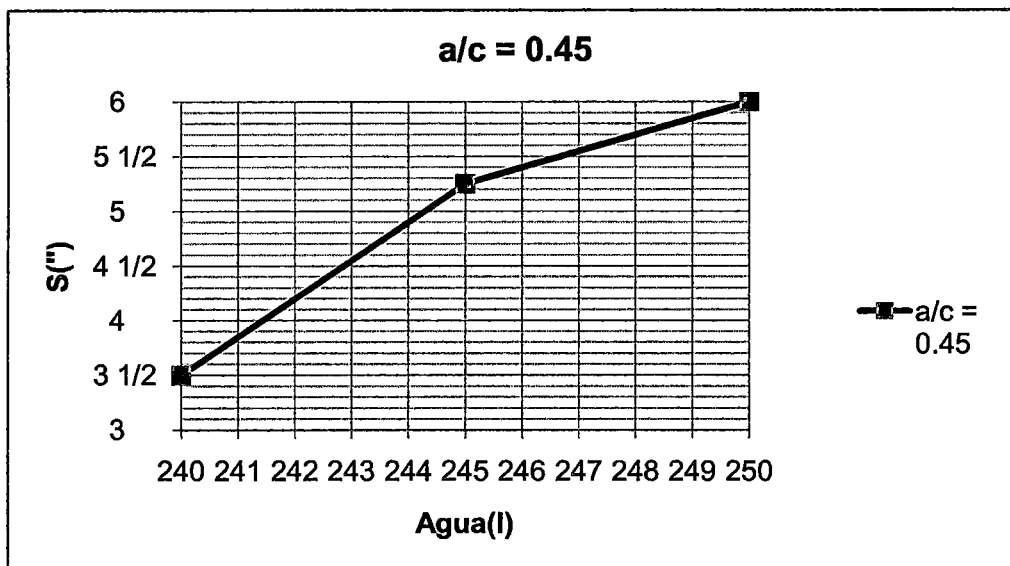
### 3.3.2 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.45

#### A. Diseño de 1m<sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48kg

Descripción	I1 = 240 litros	I2 = 245 litros	I3 = 250 litros
Tanda de 48 kg (laboratorio)			
Cemento	11.06	11.33	11.59
Agua	5.08	5.20	5.31
Arena	15.11	14.93	14.75
Piedra	16.75	16.55	16.34
Aire atrapado (%)			
asentamiento	3 1/4"	5 1/4"	6"

#### B. Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c 0.45

Con cada asentamiento obtenido de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c = 0.45, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Entonces se tiene que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3" – 4", para una relación a/c de 0.45 es: 242 litros

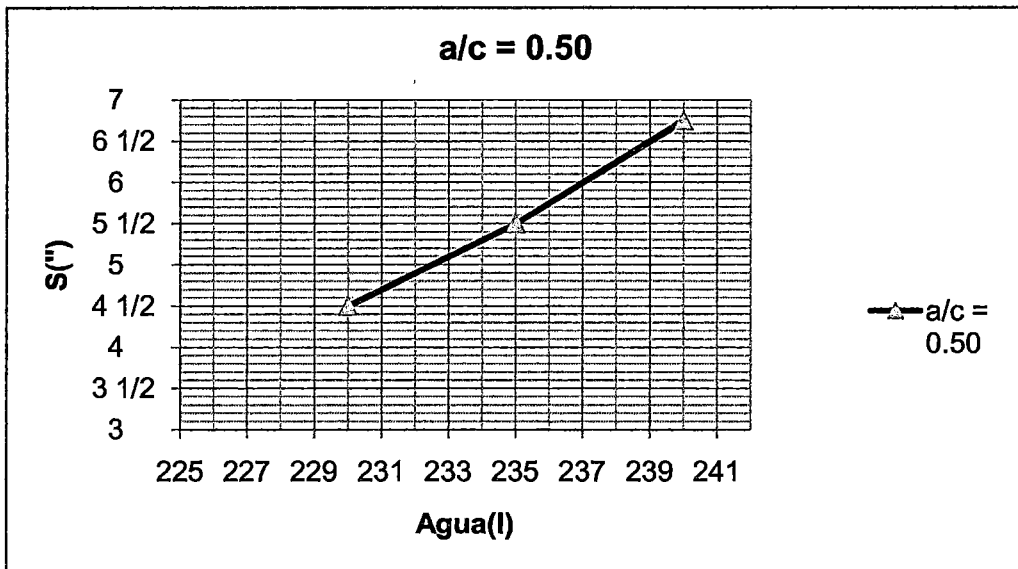
### 3.3.3 Diseño de mezcla preliminar para una relación agua/cemento de 0.50

#### A. Diseño de 1m<sup>3</sup> de concreto, para una tanda de laboratorio de 48kg

Descripción	I1 = 230 litros	I2 = 235 litros	I3 = 240 litros
Tanda de 48 kg (laboratorio)			
Cemento	9.51	9.75	9.99
Agua	4.86	4.98	5.10
Arena	15.95	15.78	15.61
Piedra	17.67	17.49	17.30
Aire atrapado (%)			
asentamiento	4 1/2"	5 1/2"	6 3/4"

#### B. Determinación de la cantidad de agua para la relación a/c 0.50

Con cada asentamiento obtenido de los diseños para las diferentes cantidades de agua del diseño de mezcla preliminar de a/c = 0.50, se realiza la gráfica "Cantidad de agua vs Asentamiento".



Entonces se tiene que la cantidad de agua para un asentamiento entre 3" – 4", para una relación a/c de 0.50 es: 228 litros

### 3.4 Diseño de Mezcla Patrón

Después de determinar las cantidades óptimas de agua para cada relación de agua – cemento (a/c), se obtiene el diseño patrón.

#### 3.4.1 Diseño Patrón con relación a/c = 0.40

Se procede a hacer el diseño de mezcla siguiendo la secuencia de diseño del ítem 3.2.2, considerando la cantidad de 260l/m<sup>3</sup>

DATOS	
TANDA	48
AGUA	260.00
A/C	0.4
CEMENTO	650.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERISTICAS FISICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
Cemento	650.00	0.209	1.00	13.70	13.59
Agua	260.00	0.260	0.40	5.48	5.53
Arena	642.63	0.250	0.99	13.55	13.70
Piedra	724.66	0.266	1.11	15.27	15.18
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			
Cemento	650.00	0.209	1.00	13.70	13.59

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

#### Tanda de laboratorio

Relación a/c	Descripción de materiales	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. Abs. (m <sup>3</sup> )	Tanda (kg)
0.4	Cemento	650.00	0.209	13.59
	Agua	260.00	0.260	5.53
	Arena	642.63	0.250	13.70
	Piedra	724.66	0.266	15.18
	Aire atrapado (%)	1.5%	0.015	
	Suma Total		2277.29	1.000

### 3.4.2 Diseño Patrón con relación a/c = 0.45

Se procede a hacer el diseño de mezcla siguiendo la secuencia de diseño del ítem 3.2.2, considerando la cantidad de 242l/m<sup>3</sup>

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	242.00
A/C	0.45
CEMENTO(kg)	537.78
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERISTICAS FISICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	537.78	0.173	1.00	11.27	11.17
Agua	242.00	0.242	0.45	5.07	5.13
Arena	709.98	0.276	1.32	14.88	15.04
Piedra	800.62	0.294	1.49	16.78	16.67
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de: 4"

#### Tanda de laboratorio

Relación a/c	Descripción de materiales	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. Abs. (m <sup>3</sup> )	Tanda (kg)
0.45	Cemento	537.78	0.173	11.17
	Agua	242.00	0.242	5.13
	Arena	709.98	0.276	15.04
	Piedra	800.62	0.294	16.67
	Aire atrapado (%)	1.5%	0.015	
	Suma Total	2290.38	1.000	

### 3.4.3 Diseño Patrón con relación a/c = 0.50

Se procede a hacer el diseño de mezcla siguiendo la secuencia de diseño del ítem 3.2.2, considerando la cantidad de 228l/m<sup>3</sup>

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	228.00
A/C	0.5
CEMENTO(kg)	456.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERISTICAS FISICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	456.00	0.147	1.00	9.51	9.42
Agua	228.00	0.228	0.50	4.76	4.82
Arena	760.17	0.295	1.67	15.85	16.02
Piedra	857.21	0.315	1.88	17.88	17.75
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

#### Tanda de laboratorio

Relación a/c	Descripción de materiales	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. Abs. (m <sup>3</sup> )	Tanda (kg)
0.5	Cemento	456.00	0.147	9.42
	Agua	228.00	0.228	4.82
	Arena	760.17	0.295	16.02
	Piedra	857.21	0.315	17.75
	Aire atrapado (%)	1.5%	0.015	
	Suma Total		2301.38	1.000

### 3.4.4 Cuadro Resumen de diseños de mezclas patrón

DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO PATRÓN				
Descripción de materiales	und	0.40 tanda	0.45 tanda	0.50 tanda
Cemento	kg	13.59	11.17	9.42
Agua	l	5.53	5.13	4.82
Arena	kg	13.70	15.04	16.02
Piedra	kg	15.18	16.67	17.75

### 3.5 Diseño de Mezcla Patrón con Fibra de acero

Obtenido el diseño de mezcla del concreto patrón ó concreto modelo, se procederá a realizar el diseño de mezcla incluyendo 2 tipos de fibras metálicas, bajo las siguientes dosificaciones: 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20 kg/m<sup>3</sup>; las fibras metálicas son las siguientes:

- Dramix RC 65/60 BN(Rendimiento)
- Dramix RC 80/60 BN(Super rendimiento)

Teniendo en cuenta los diseños de mezcla patrón ó diseño modelo, se calculará la cantidad de fibra para cada dosificación en cada tanda mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{D \times T}{S}$$

Donde:

C = Cantidad de fibra para la mezcla (kg)

D = Dosificación de la fibra metálica de acero (kg/m<sup>3</sup>)

T = Tanda de la mezcla (kg)

S = Suma de los pesos húmedos del cemento + agua + piedra + arena (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.5.1 Diseño de mezcla Patrón con fibra metálica Dramix RC 65/60

#### A.1 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.40

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.40	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	13.59	13.59	13.59
	Agua	5.53	5.53	5.53
	Arena	13.70	13.70	13.70
	Piedra	15.18	15.18	15.18
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.211</b>	<b>0.316</b>	<b>0.422</b>

#### A.2 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.45

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.45	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	11.17	11.17	11.17
	Agua	5.13	5.13	5.13
	Arena	15.04	15.04	15.04
	Piedra	16.67	16.67	16.67
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.210</b>	<b>0.314</b>	<b>0.419</b>

#### A.3 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.50

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.50	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	9.42	9.42	9.42
	Agua	4.82	4.82	4.82
	Arena	16.02	16.02	16.02
	Piedra	17.75	17.75	17.75
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.209</b>	<b>0.313</b>	<b>0.417</b>



### 3.5.2 Diseño de mezcla Patrón con fibra metálica Dramix RC 80/60 BN

#### B.1 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.40

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.40	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	13.59	13.59	13.59
	Agua	5.53	5.53	5.53
	Arena	13.70	13.70	13.70
	Piedra	15.18	15.18	15.18
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.211</b>	<b>0.316</b>	<b>0.422</b>

#### B.2 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.45

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.45	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	11.17	11.17	11.17
	Agua	5.13	5.13	5.13
	Arena	15.04	15.04	15.04
	Piedra	16.67	16.67	16.67
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.210</b>	<b>0.314</b>	<b>0.419</b>

#### B.3 Diseño de mezcla Patrón con a/c = 0.50

Relación a/c	Descripción de materiales	Tanda (kg)	Tanda (kg)	Tanda (kg)
0.50	Dosificación de Fibra metálica	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Cemento	9.42	9.42	9.42
	Agua	4.82	4.82	4.82
	Arena	16.02	16.02	16.02
	Piedra	17.75	17.75	17.75
	Aire atrapado (%)			
	<b>Fibra metálica</b>	<b>0.209</b>	<b>0.313</b>	<b>0.417</b>

**3.5.3 Cuadro resumen de diseños de mezcla Patrón con fibras metálicas (RC 65/60BN y RC 80/60 BN)**

**CUADRO RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLAS CON FIBRAS METÁLICAS (RC 65/60 BN y 80/60 BN)**

Descripción de materiales	a/c = 0.40			a/c = 0.45			a/c = 0.50		
	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
Dosificación de fibra metálica	und								
Cemento	kg	13.59	13.59	11.17	11.17	11.17	9.42	9.42	9.42
Agua	l	5.53	5.53	5.13	5.13	5.13	4.82	4.82	4.82
Arena	kg	13.70	13.70	15.04	15.04	15.04	16.02	16.02	16.02
Piedra	kg	15.18	15.18	16.67	16.67	16.67	17.75	17.75	17.75
<b>Fibra metálica</b>	<b>kg</b>	<b>0.211</b>	<b>0.316</b>	<b>0.210</b>	<b>0.314</b>	<b>0.419</b>	<b>0.209</b>	<b>0.313</b>	<b>0.417</b>

## CAPÍTULO 4: ENSAYOS Y RESULTADOS

Los ensayos a los que fueron sometidas las mezclas de concreto fueron:

- En estado fresco: Consistencia, fluidez, peso unitario, exudación y tiempo de fraguado.
- En estado endurecido: Ensayo de compresión, tracción, flexión y módulo de elasticidad.

### 4.1 Ensayos al concreto en estado fresco

#### 4.1.1 Consistencia (NTP 339.035 – ASTM C413)

La consistencia es la capacidad de la mezcla de mantenerse homogénea con una permanencia en un estado determinado en función del tiempo. El método de determinación empleado es el ensayo del "Cono de Abrams" que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas ó centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definida y tronco cónico.

Se puede clasificar al concreto de acuerdo a su consistencia en tres grupos:

- Concretos consistentes ó secos, con asentamiento de 0" a 2".-
- Concreto plástico, con asentamiento de 3 a 4" (7,5 cm. a 10 cm).
- Concretos fluidos, con asentamiento con más de 5" (12,5 cm).

#### 4.1.2 Fluidez (NTP 339.085)

Es la propiedad que tiene el concreto para comportarse como un líquido en determinadas circunstancias, se logra medir esta propiedad mediante la mesa de sacudidas.

Para el cálculo del índice de fluidez se tiene la siguiente expresión:

$$F = \frac{(D - 25)}{25} \times 100$$

donde:

F: Porcentaje de fluidez

D: Diámetro promedio en cm

#### **4.1.3 Peso Unitario (NTP 339.046 - ASTM C138)**

El peso unitario clasifica al concreto como normal, liviano y denso. Es un indicador que verifica la uniformidad del concreto. El peso unitario de los concretos comunes varía entre los 2300 y 2500 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo de las características y tamaño del agregado grueso.

#### **4.1.4 Exudación (NTP 339.077 - ASTM C232)**

La exudación es un tipo de segregación del concreto por el cual parte del agua de diseño se separa de la masa y emerge desde el interior de la mezcla hasta la superficie del concreto. Esta propiedad del concreto en estado fresco ocurre inevitablemente en el concreto normal, y en algunos casos no existe, como también disminuye debido al uso de aditivos reductores de agua.

#### **4.1.5 Tiempo de Fraguado (NTP 339.082 - ASTM C403)**

Es la propiedad que representa el tiempo en el que el concreto fresco va cambiando de su consistencia plástica y moldeable a una etapa sólida e indeformable. El tiempo de fraguado se mide en tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

#### **4.1.6 Resultados de los ensayos del concreto en estado fresco**

El resumen de los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco se muestran en el Cuadro 4.1.1, y en los Gráficos 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 y 4.1.6; que corresponde a los diseños realizados en el **CAPÍTULO 3**, para mezclas plásticas con asentamiento en el rango de 3" a 4". Los datos de los ensayos, más detallados se encuentran en los ANEXOS.

**CUADRO 4.1.1: ENSAYO DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO (Cuadro Resumen)**

MEZCLA	FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	ASENTAM. (pulg.)	FLUIDEZ (%)	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	EXUDACION (%)	TIEMPO DE FRAGUADO	
						INICIAL (min)	FINAL (min)
a/c	DISEÑO						
0.40	Patrón	4	89.20	2329.00	1.03	288	444
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	94.04	2338.71	1.02	246	334
		15	95.04	2358.31	1.05	262	380
		20	91.96	2359.02	1.00	261	380
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	94.80	2348.43	0.94	267	389
		15	82.00	2351.96	0.85	262	378
20		79.60	2367.85	0.86	263	382	
0.45	Patrón	4	92.80	2362.55	1.36	274	399
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	93.32	2359.02	1.40	263	382
		15	90.20	2367.85	1.34	290	422
		20	92.48	2366.08	1.29	272	405
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	94.96	2378.44	1.28	259	371
		15	90.76	2381.97	1.24	273	409
20		92.64	2378.44	1.22	271	394	
0.50	Patrón	4	105.92	2389.04	1.85	276	396
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	100.24	2373.15	1.78	260	387
		15	98.32	2386.39	1.72	259	381
		20	97.40	2378.44	1.79	270	397
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	83.56	2403.16	1.65	260	396
		15	81.88	2397.87	1.68	261	389
20		74.32	2394.33	1.64	272	404	

GRÁFICO 4.1.1: ENSAYO DE ASENTAMIENTO vs RELACIÓN a/c

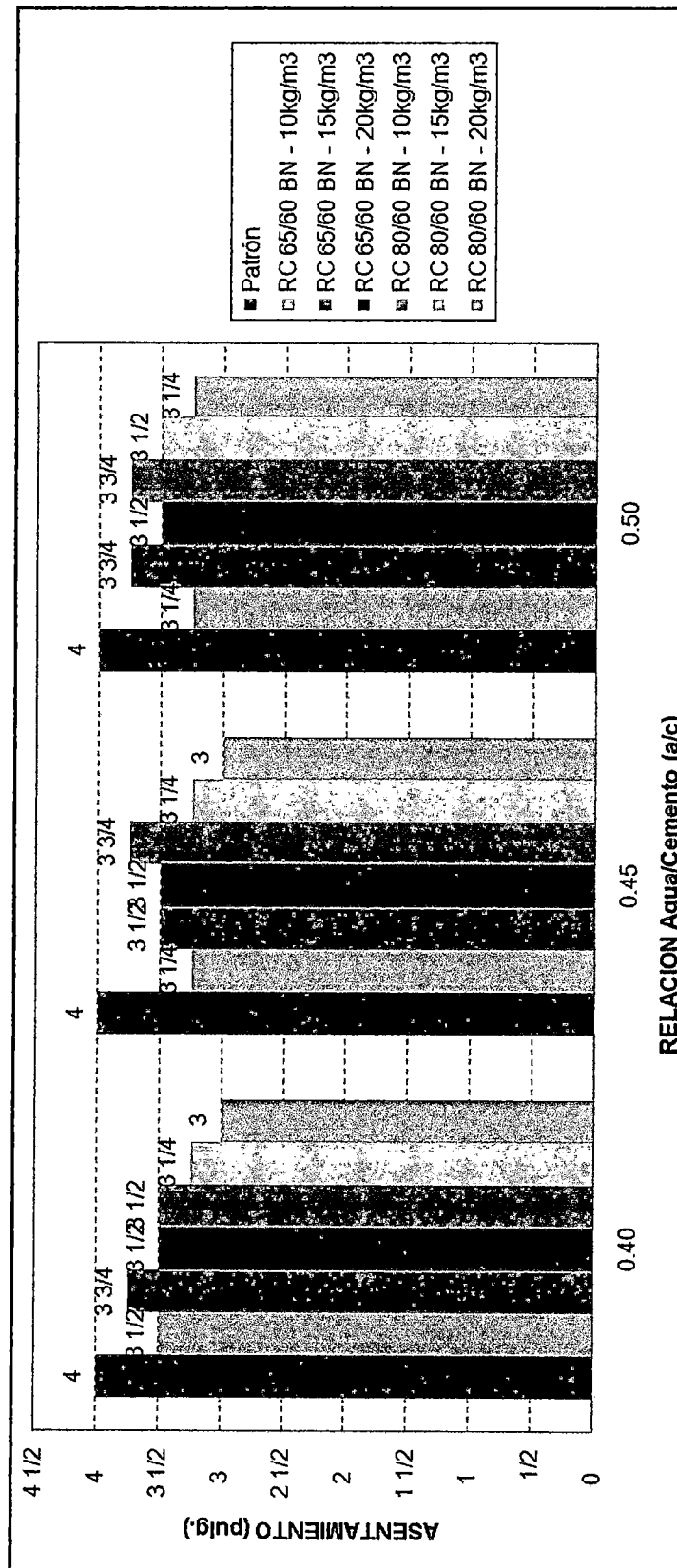


GRÁFICO 4.1.2: ENSAYO DE FLUIDEZ vs RELACIÓN a/c

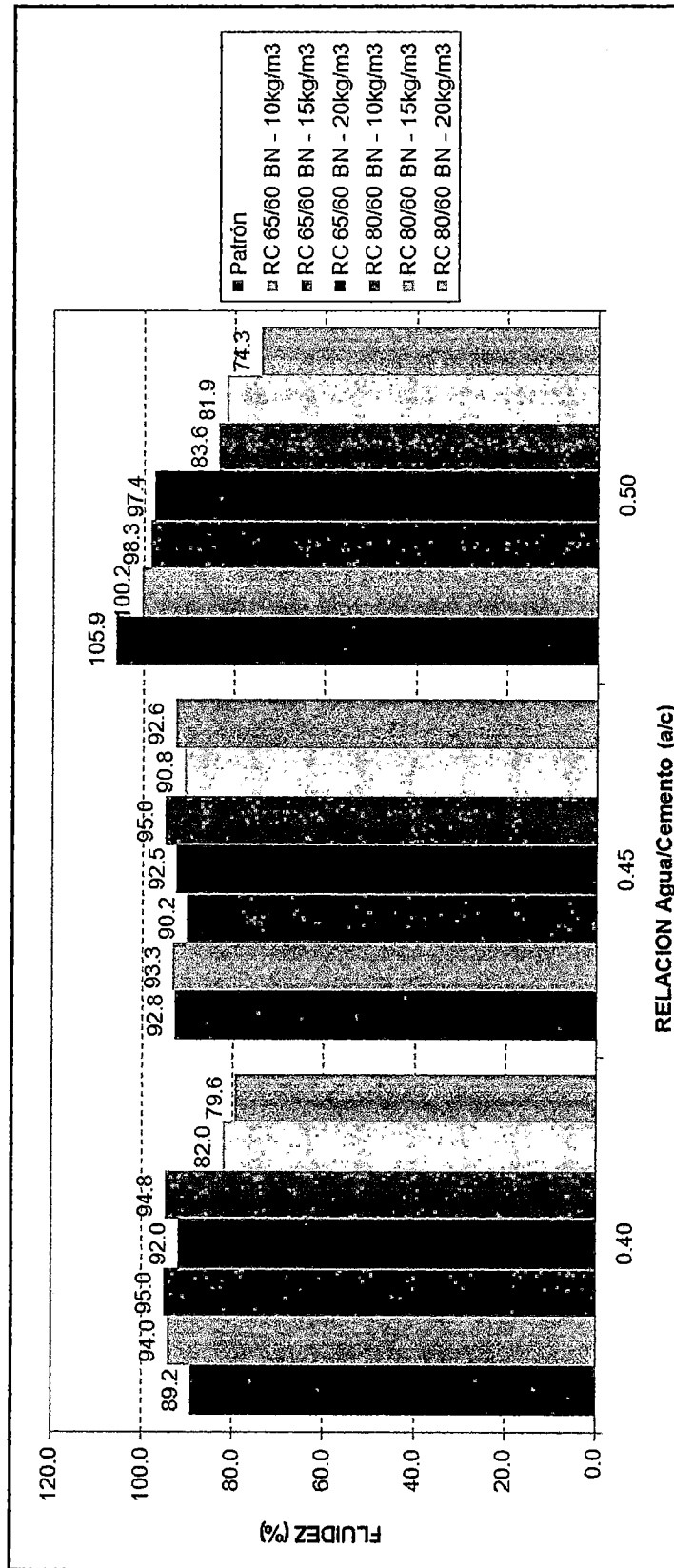


GRÁFICO 4.1.3: ENSAYO DE PESO UNITARIO vs RELACIÓN a/c

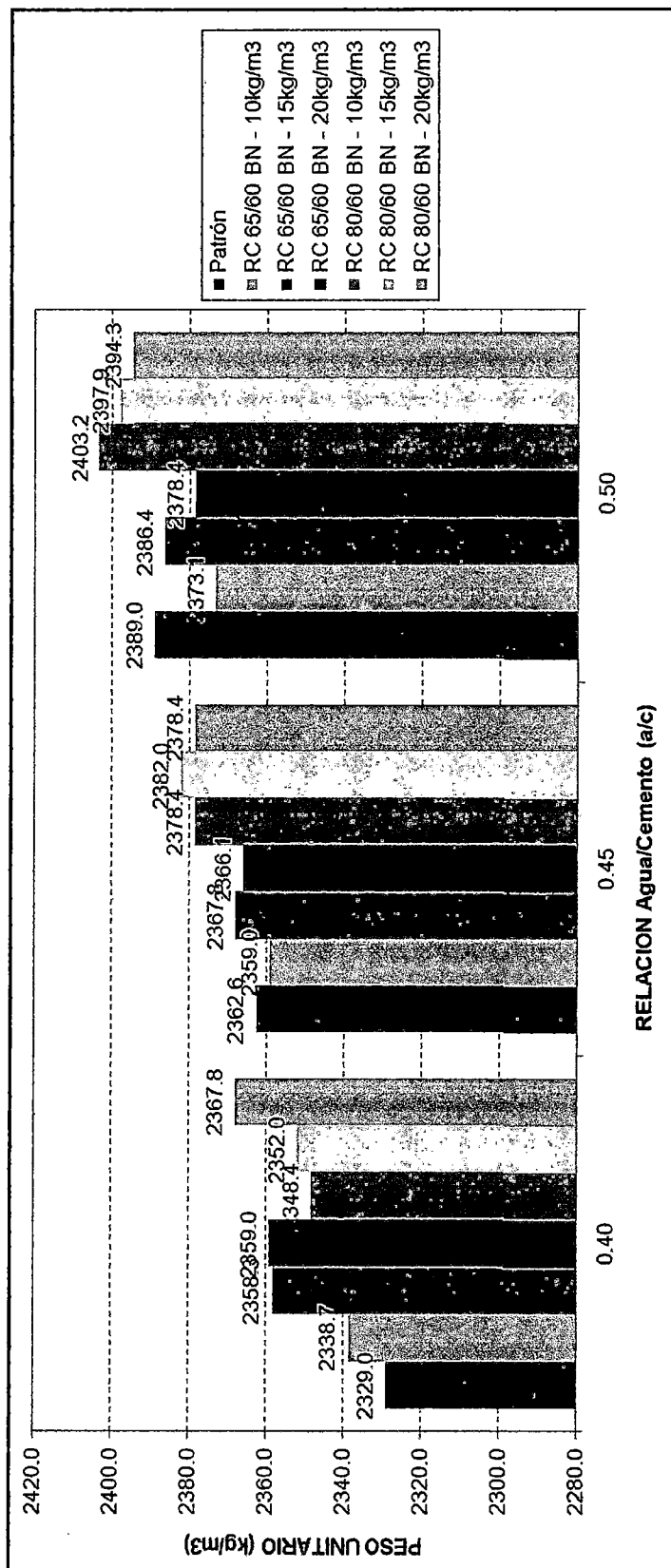




GRÁFICO 4.1.4: ENSAYO DE EXUDACIÓN vs RELACIÓN a/c

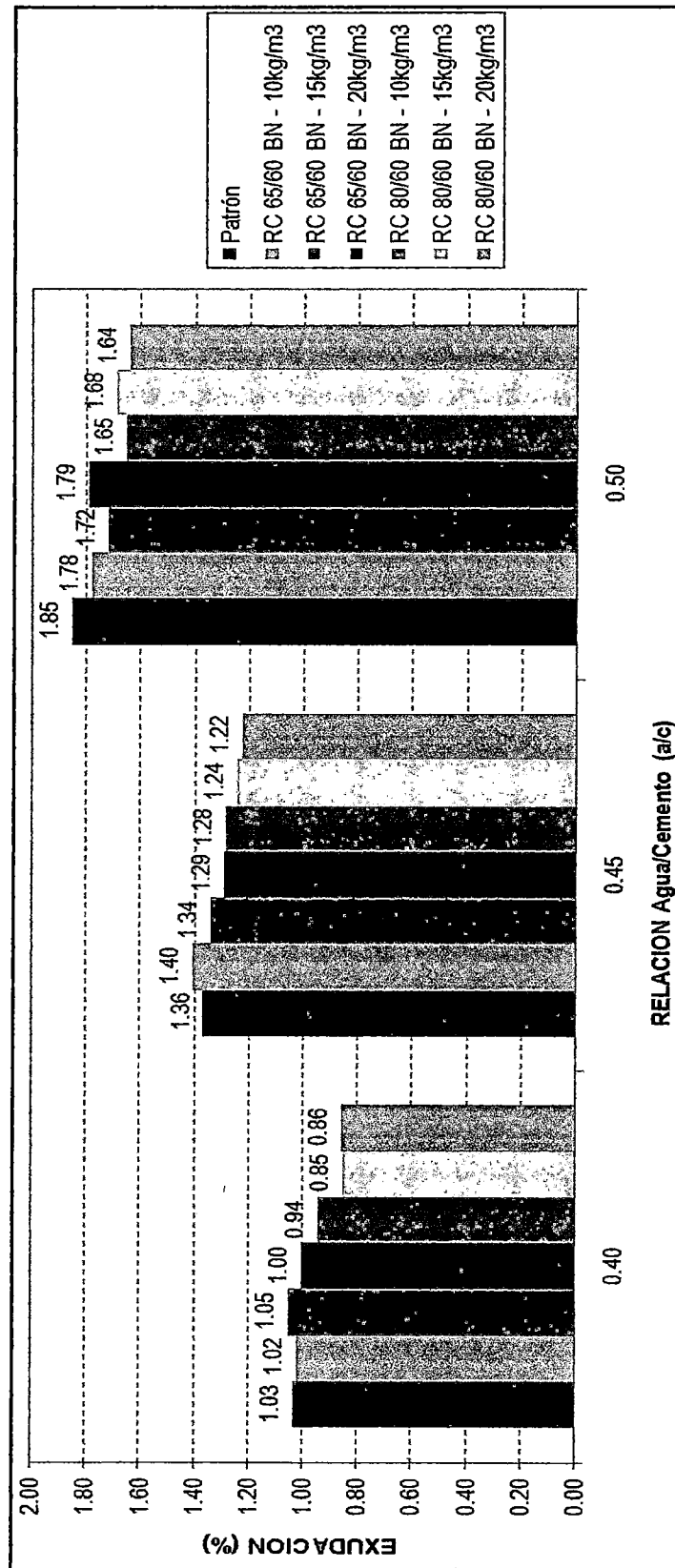


GRÁFICO 4.1.5: ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA INICIAL vs RELACIÓN a/c

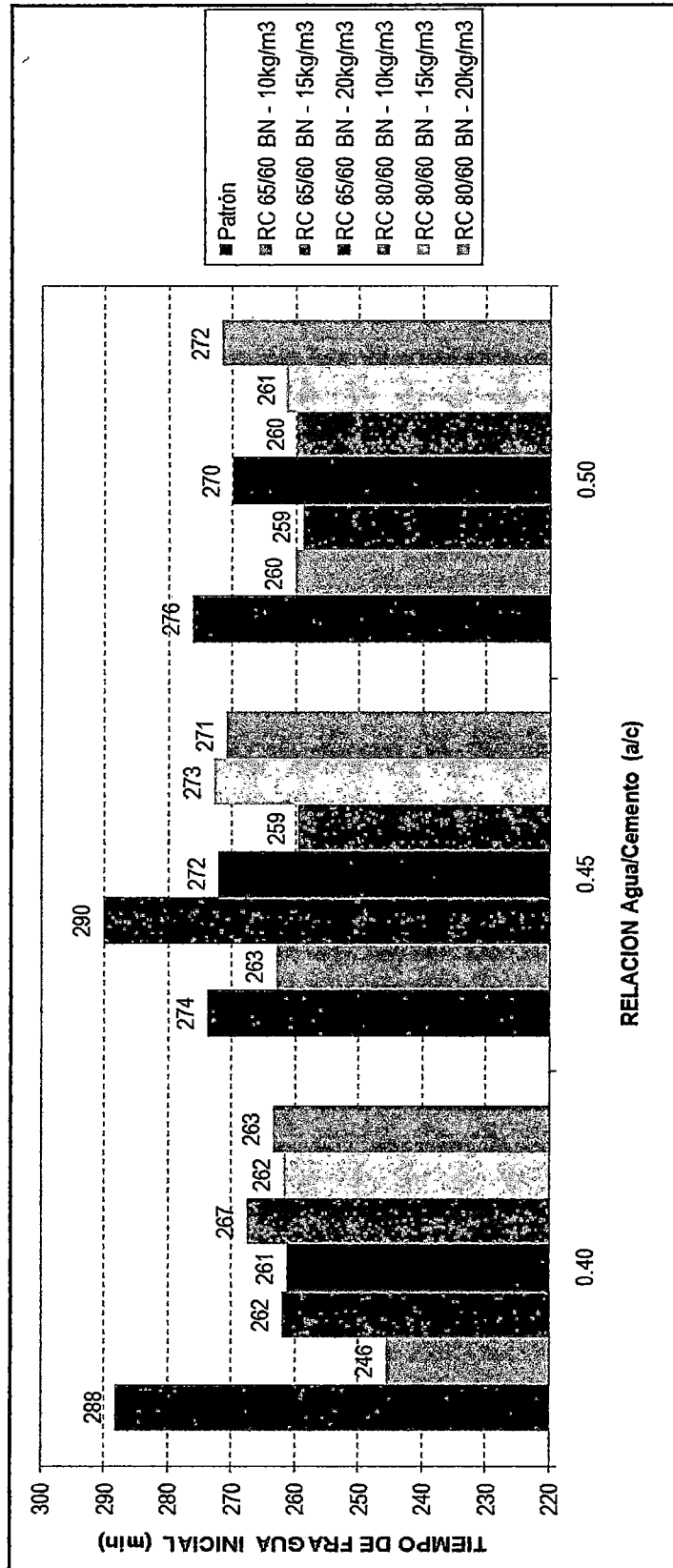
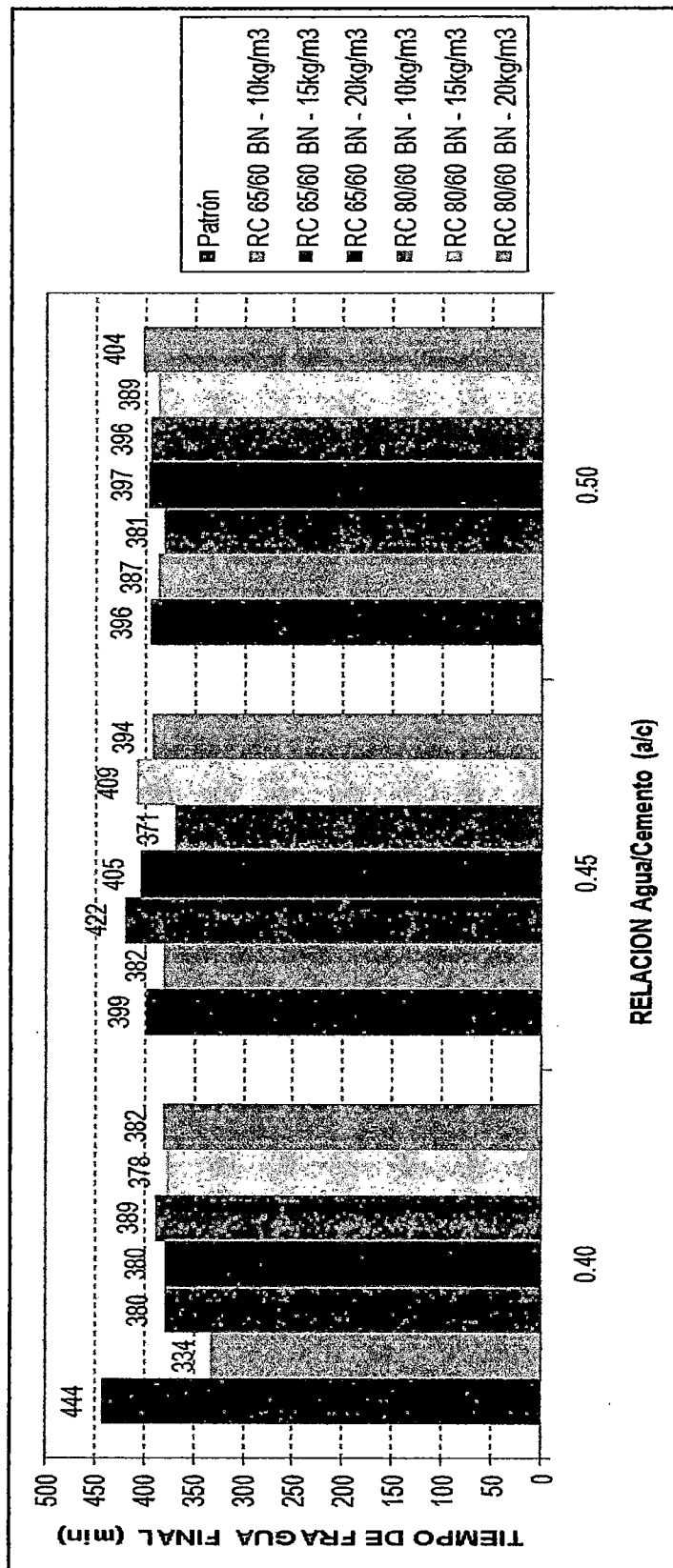


GRÁFICO 4.1.6: ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA FINAL vs RELACIÓN a/c



## 4.2 Ensayos al concreto en estado endurecido

### 4.2.1 Resistencia a la Compresión (NTP 339.034 – ASTM C39)

A la resistencia mecánica del concreto también se le reconoce como la resistencia a la compresión, ya que presenta la condición de carga en la que el concreto recibe mayor capacidad para soportar esfuerzos. La resistencia a la compresión para una probeta de forma cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{4}{\pi} \times \frac{G}{D^2}$$

Donde:

Rc: Resistencia a la rotura (kg/cm<sup>2</sup>)

G: Carga de Rotura (kg)

D: Diámetro de la probeta (cm)

### 4.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084 – ASTM C496)

Las probetas que se utilizan para el ensayo de la resistencia a la tracción por compresión diametral, son de igual fabricación que las probetas usadas para el ensayo a compresión.

Por naturaleza el concreto es muy débil a los esfuerzos a tracción; también es difícil medir este esfuerzo debido a los problemas de agarre con las máquinas de prueba. Debido a la existencia de varios métodos que requieren una operación compleja se optó por el método de tracción por hendimiento ó prueba brasileña, la cual consiste en romper la probeta de concreto entre los cabezales de una prensa, según generatrices opuestas.

La resistencia a la tracción para una probeta de forma cilíndrica se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{2}{\pi} \times \frac{P}{D \times L}$$

Donde:

Q: Resistencia a la tracción (kg/cm<sup>2</sup>)

D: Diámetro de la probeta (cm)

P: Carga de Rotura (kg)

L: Longitud de la probeta (cm)

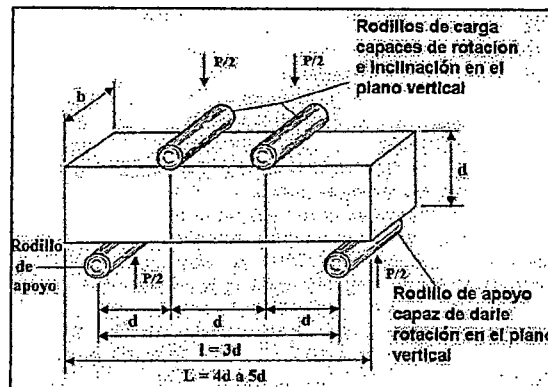
### 4.2.3 Resistencia a la Flexión (NTP 339.078)

La resistencia a la flexión del concreto, normalmente es referida al módulo de rotura, ya que es el esfuerzo a la tensión máxima teórica alcanzada en la fibra del fondo de una viga.

El valor del módulo de rotura depende de la viga y además de la posición de la carga. En este caso utilizaremos la carga simétrica en dos puntos sobre la viga (denominado carga a los tercios de la viga, ver figura 4.2.1); debido a que en este ensayo el diagrama de momentos que ocurre en la viga, es más próximo al de una carga repartida sobre la viga, a diferencia del diagrama de momentos que se genera en una viga cargada en el centro.

FIGURA 4.2.1

#### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN



Tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones de las vigas usadas para el ensayo de flexión son de 6"x6"x20".
- La viga debe ser colocada horizontalmente sobre los apoyos ubicados en el tercio de la viga.
- Si la fractura debido a la carga, ocurre dentro del tercio central de la viga, el módulo de rotura se calcula con la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

Mr: Módulo de rotura (kg/cm<sup>2</sup>)      b: Ancho promedio de la viga (cm)

P: Carga Máxima (kg)      h: Altura promedio de la viga (cm)

L: Luz libre (cm)

- De ocurrir el caso en el cual la fractura ocurra fuera del tercio central, la norma ASTM C 78-84 permite la falla fuera de los puntos de carga, siempre y cuando ocurran a una distancia "a" del apoyo más cercano, y el módulo de rotura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{Pa}{bh^2}$$

- Sin embargo, si la falla ocurre en una sección igual a:  $\left(\frac{L}{3} - a\right) > 0.05L$  entonces se debe descartar el ensayo.

#### 4.2.4 Módulo Elástico Estático (ASTM C496)

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo – deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de una curva. Generalmente se conoce como módulo de elasticidad; la relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparte de la recta y comienza ser curva. El límite de proporcionalidad para el módulo de elasticidad es del 40% de la resistencia a la compresión y la deformación para este punto.

En el diseño de mezcla debe tenerse en cuenta que el Módulo de elasticidad depende de los siguientes factores:

- La resistencia a la compresión del concreto
- De la tensión de trabajo
- De la forma y tiempo de curado del concreto
- Del grado de humedad

Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 25000 hasta 350000 kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.2.5 Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido

Los resultados obtenidos para cada ensayo se detallan en los ANEXOS, los mismos que corresponden a 3 diseños de mezclas diferentes, y por cada diseño 3 dosificaciones por cada tipo de fibra metálica, siendo en total 21 diseños de mezcla.

La preparación de la mezcla fue realizada de acuerdo a los diseños realizados en el CAPÍTULO 3, para mezclas plásticas, con asentamiento en el rango de 3" a 4".

**CUADRO 4.2.1**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**  
**(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	RESIST. A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )			
			EDAD (días)			
a/c	DISEÑO		7	14	28	42
0.40	Patrón	0	329.23	357.76	382.66	421.58
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	333.59	367.61	387.54	414.07
		15	337.65	361.96	386.47	422.70
		20	335.83	370.65	385.52	425.57
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	335.02	363.36	396.33	426.60
		15	337.84	370.32	389.27	424.14
20		337.24	381.19	397.86	436.21	
0.45	Patrón	0	321.40	338.02	366.25	398.39
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	324.49	335.91	365.88	400.02
		15	321.26	339.55	366.14	397.15
		20	324.39	343.17	369.01	413.27
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	326.84	340.37	369.10	399.76
		15	324.00	343.90	369.13	413.40
20		326.86	343.54	363.70	414.55	
0.50	Patrón	0	300.22	310.83	334.90	375.65
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	296.64	319.43	346.26	372.78
		15	300.91	314.26	344.10	386.26
		20	306.50	322.60	342.87	381.39
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	308.28	317.46	347.70	371.57
		15	304.49	329.87	345.55	380.15
20		305.42	326.28	346.29	385.85	

**CUADRO 4.2.2**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR**  
**COMPRESIÓN DIAMETRAL**  
**(28 días)**  
**(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
a/c	DISEÑO		
0.40	Patrón	0	33.46
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	35.06
		15	34.05
		20	37.26
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	34.13
		15	35.69
		20	37.96
0.45	Patrón	0	31.68
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	33.05
		15	33.98
		20	33.53
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	33.64
		15	33.01
		20	33.86
0.50	Patrón	0	24.02
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	29.07
		15	29.98
		20	31.80
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	30.40
		15	30.06
		20	31.79



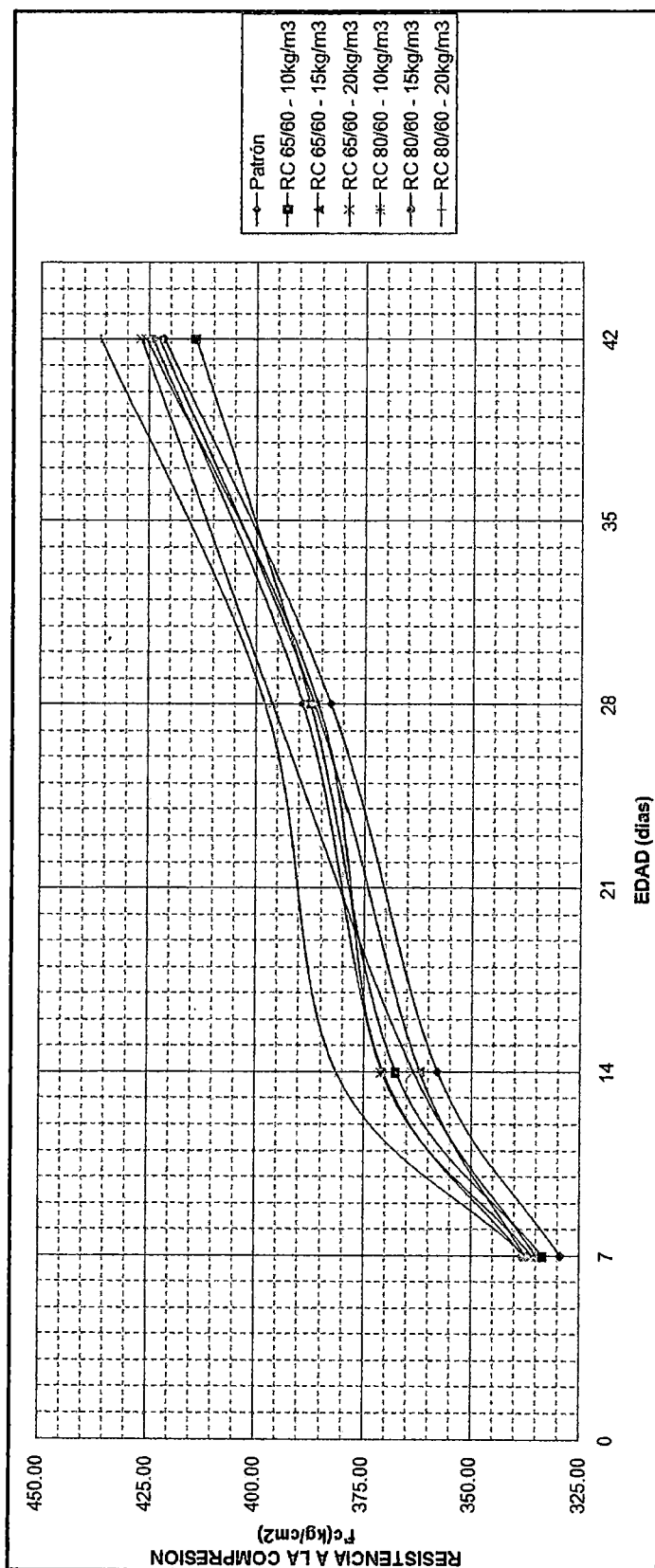
**CUADRO 4.2.3**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS**  
**(28 días)**  
**(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA	MÓDULO DE ROTURA
a/c	DISEÑO	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	Patrón	0	42.41
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	38.90
		15	41.15
		20	44.32
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	43.49
		15	43.41
20		46.31	
0.45	Patrón	0	38.97
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	35.76
		15	39.27
		20	43.09
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	39.65
		15	41.70
20		42.89	
0.50	Patrón	0	29.05
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	33.45
		15	35.23
		20	35.46
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	36.33
		15	36.24
20		38.95	

**CUADRO 4.2.4**  
**ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE)**  
**(28 días)**  
**(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE)
a/c	DISEÑO	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	Patrón	0	281978.38
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	306310.49
		15	299213.44
		20	300842.64
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	317793.91
		15	311265.19
20		323011.61	
0.45	Patrón	0	278217.24
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	294183.80
		15	293728.52
		20	298233.25
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	288657.97
		15	291375.61
20		301627.89	
0.50	Patrón	0	263752.09
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	266228.96
		15	279531.02
		20	261284.74
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	264578.62
		15	274037.31
20		271681.08	

**GRÁFICO 4.2.1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**  
**a/c = 0.40**



**GRÁFICO 4.2.2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**  
 $a/c = 0.45$

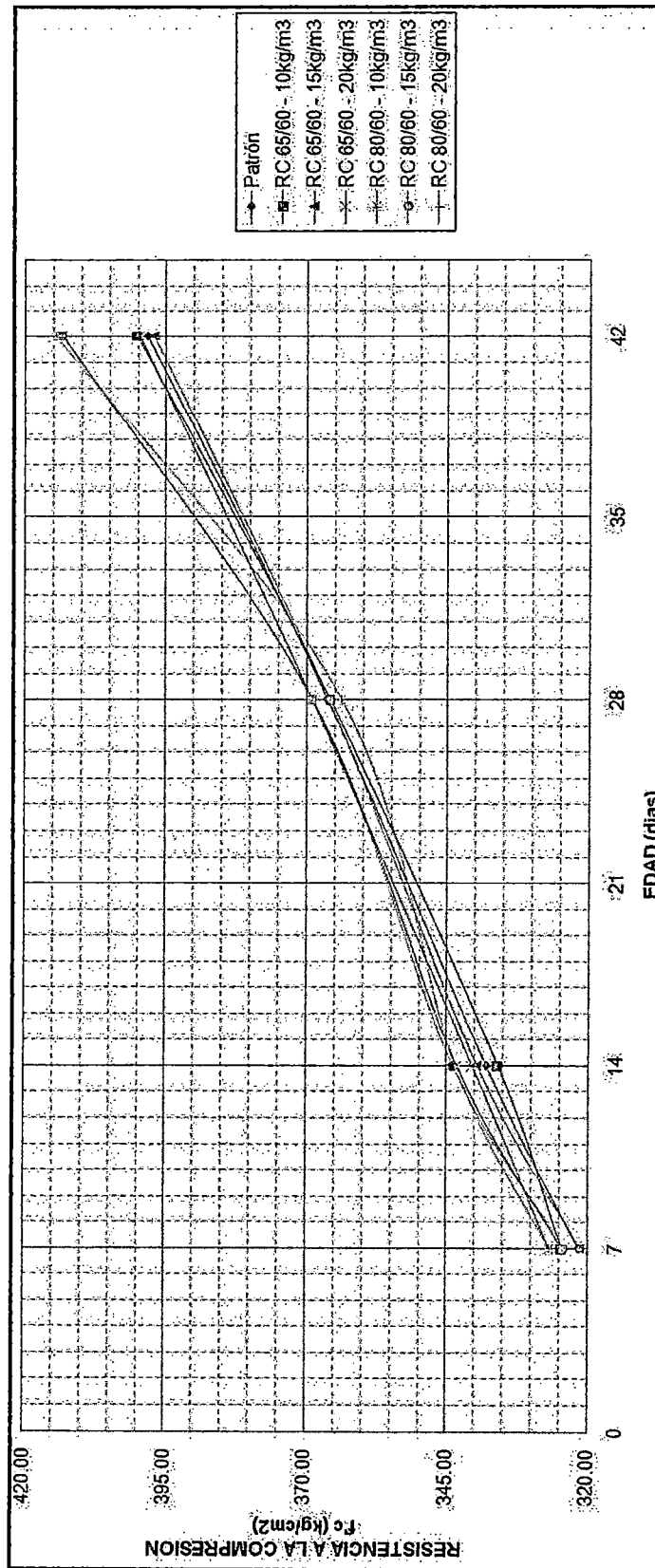


GRÁFICO 4.2.3: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
a/c = 0.50

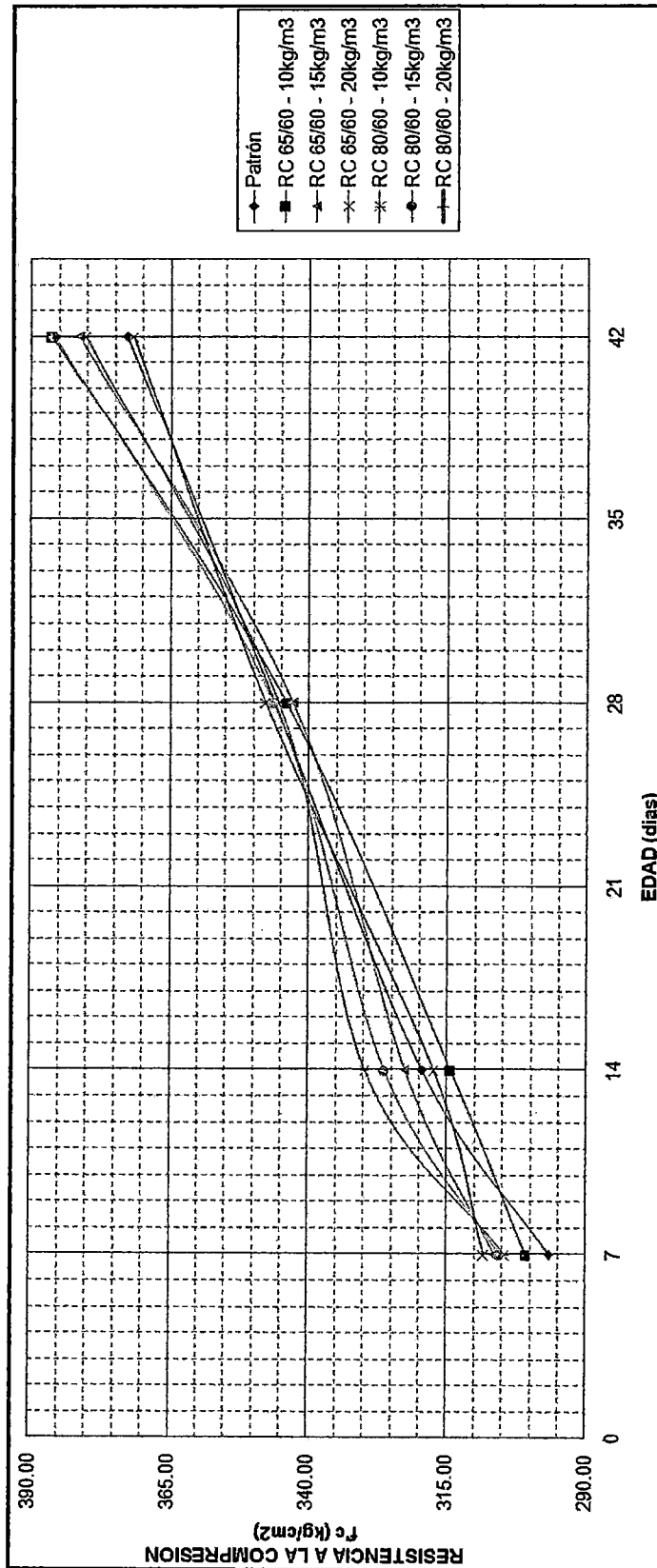


GRÁFICO 4.2.4: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL vs. RELACIÓN a/c

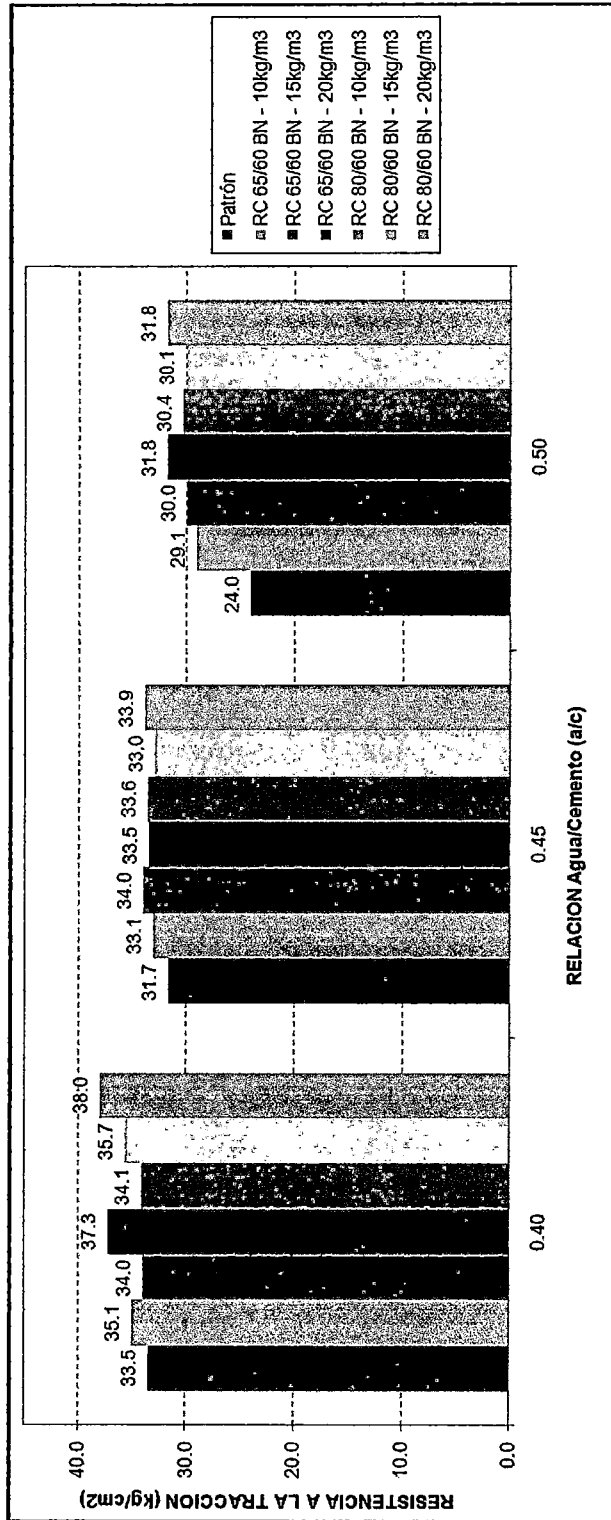
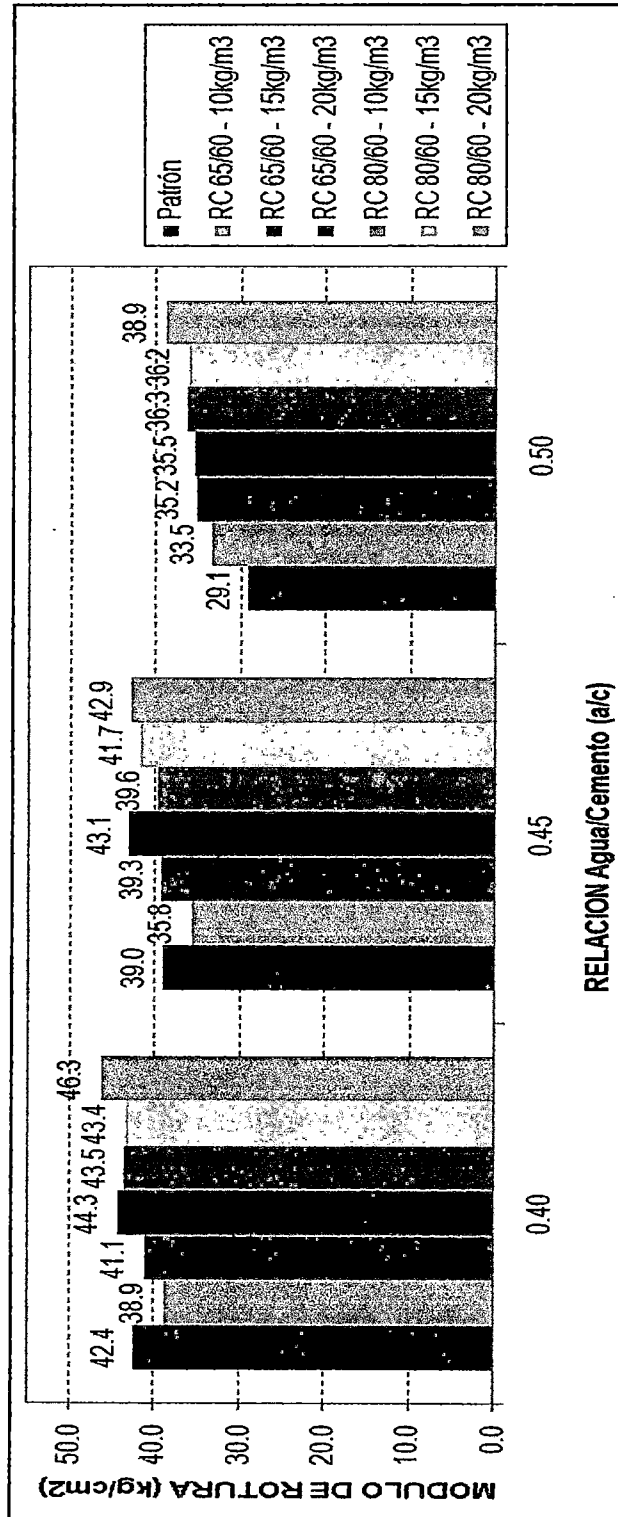
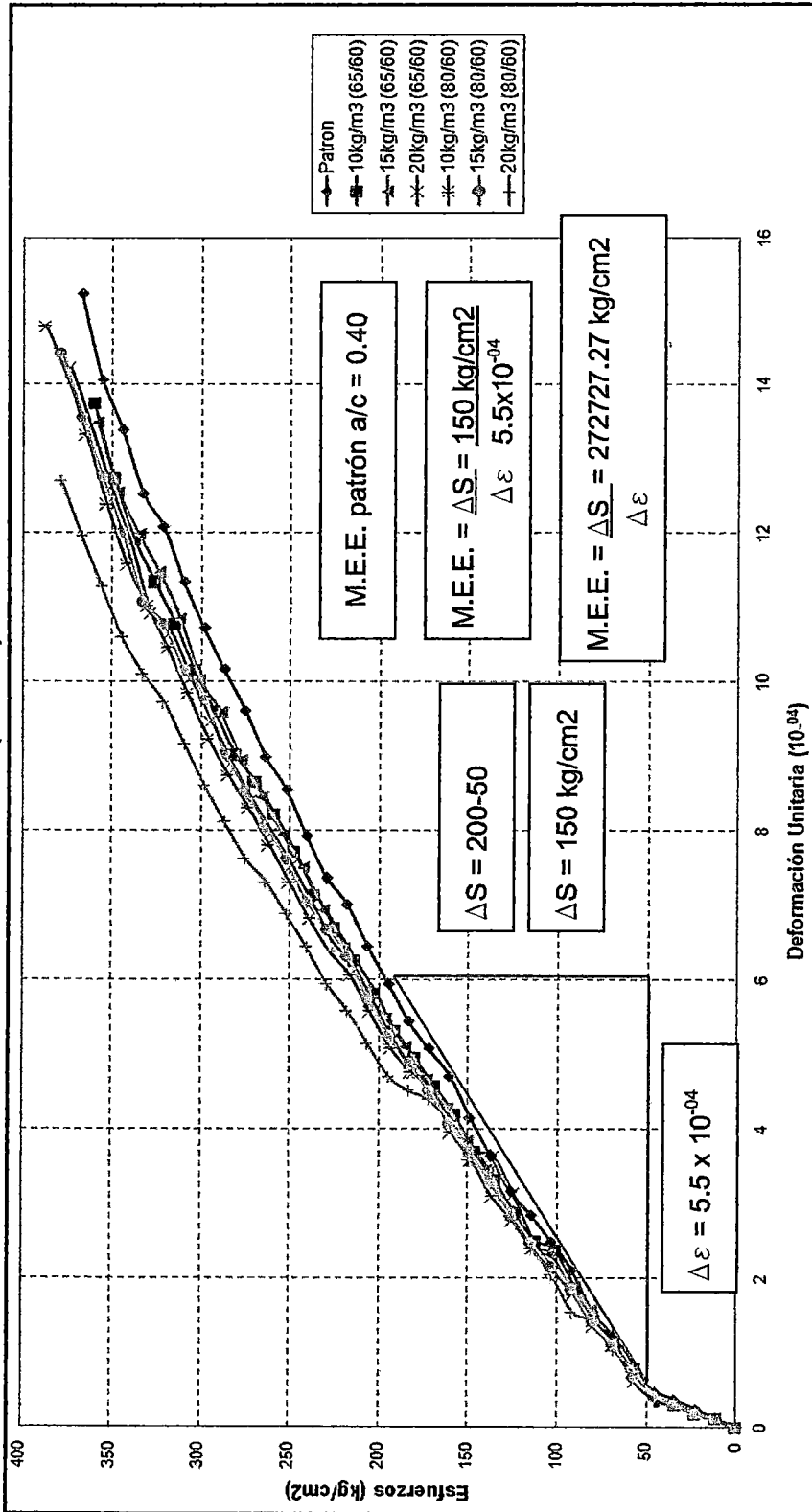


GRÁFICO 4.2.5: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS vs. RELACIÓN a/c



**GRÁFICO 4.2.6: MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO**  
 a/c = 0.40 (28 días)





**GRÁFICO 4.2.7: MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO**  
 a/c = 0.45 (28 días)

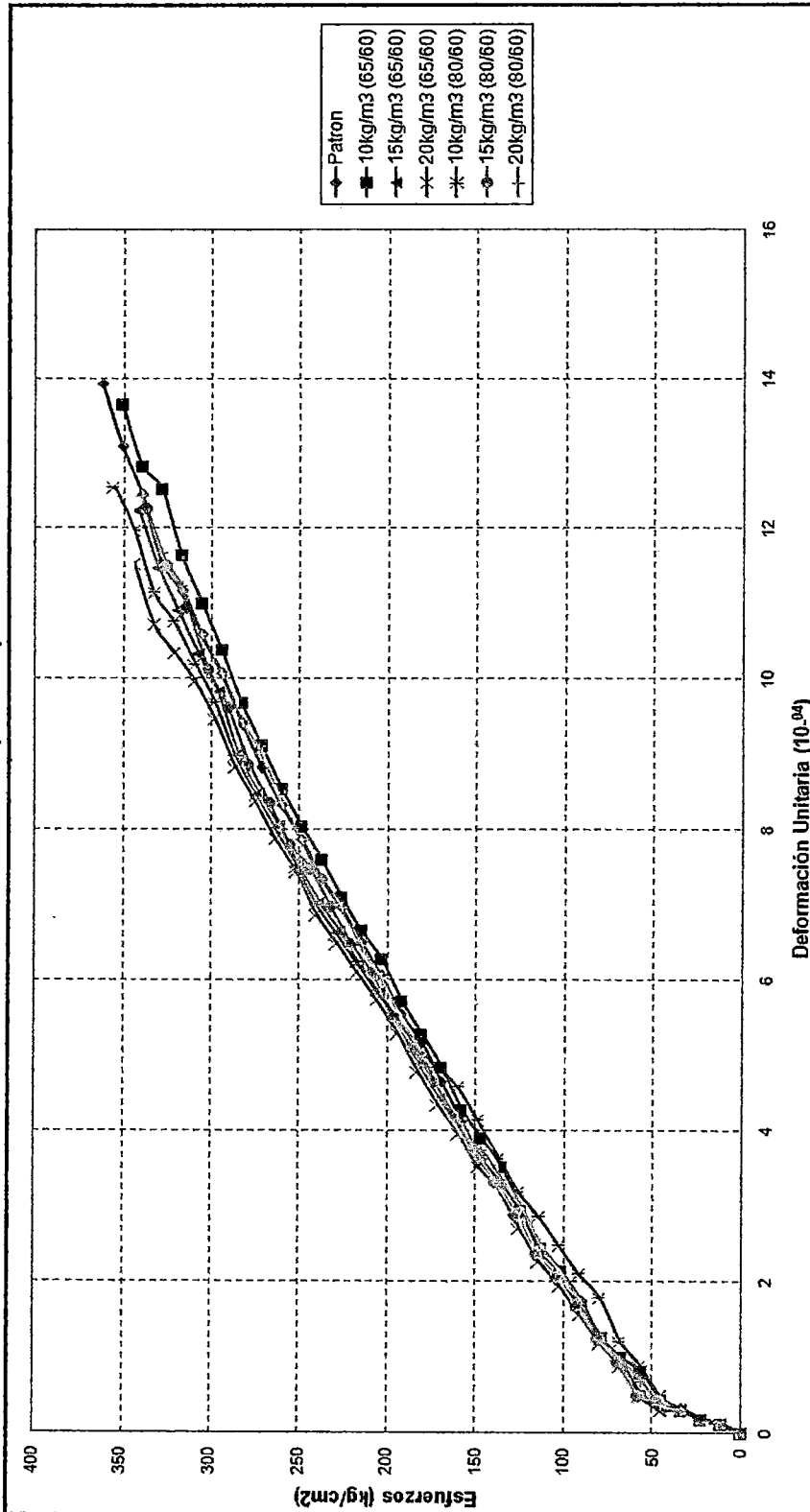
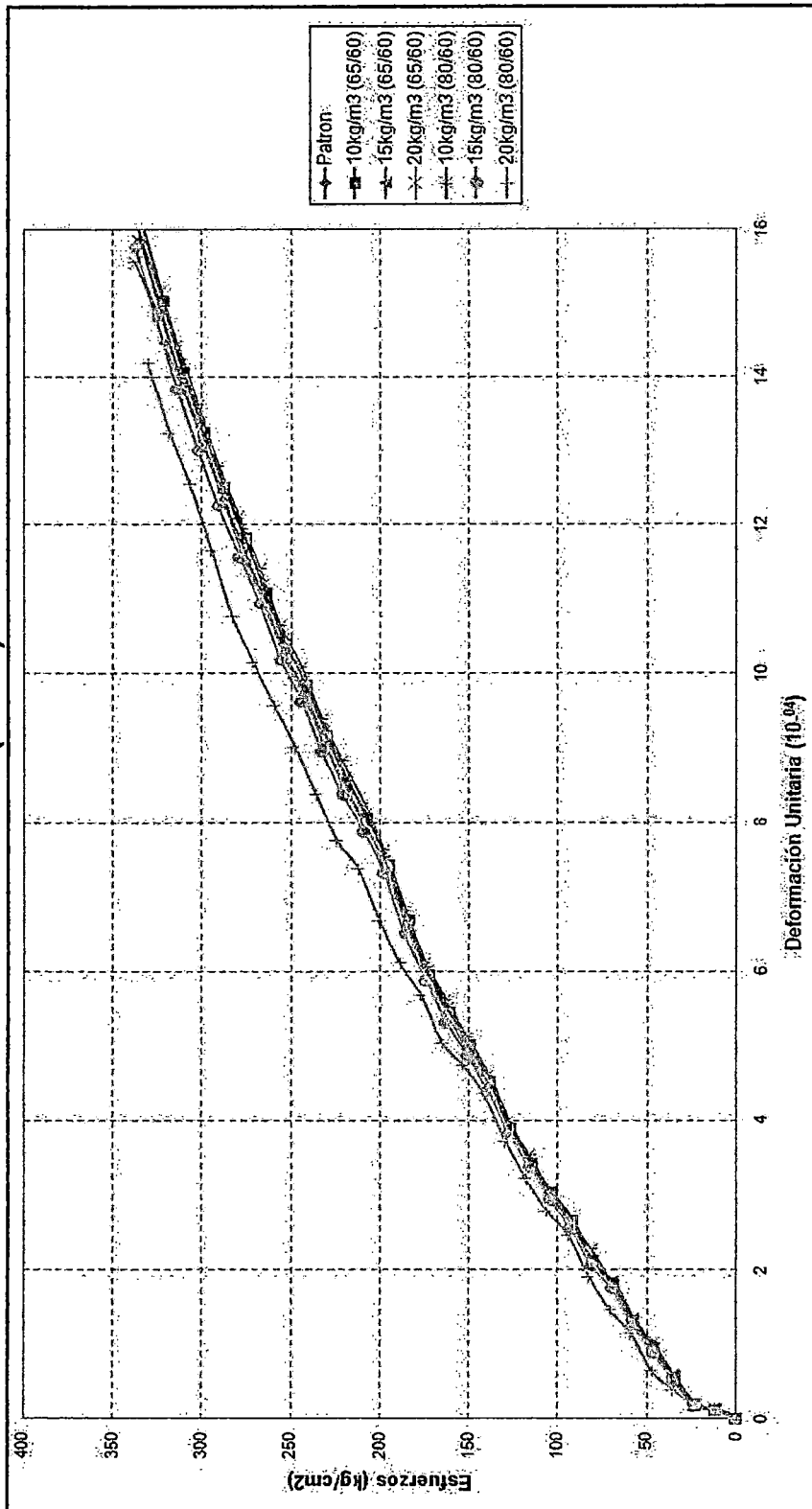


GRÁFICO 4.2.8: MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO  
a/c = 0.50 (28 días)



## **CAPÍTULO 5: CUADROS COMPARATIVOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **5.1 Generalidades**

Luego de determinar los resultados, realizaremos cuadros y gráficos comparativos de los diferentes ensayos realizados en la presente investigación, esto es para visualizar en qué medida aumenta ó disminuye las propiedades del concreto con la inclusión de las fibras metálicas. Para esto se considera como base al concreto patrón, ó también conocido como el concreto normal (representara el 100%).

En este capítulo se mostrará las variaciones, en términos de porcentajes relativos respecto del concreto patrón, de cada uno de los ensayos realizados.

### **5.2 Cuadros y gráficos comparativos**

#### **5.2.1 Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado fresco**

A continuación se aprecia los gráficos y cuadros de los ensayos al concreto en estado fresco

**Cuadro 5.1.1: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**

MEZCLA	a/c	DISEÑO	FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	ASENTAM. (pulg.)	VARIACIÓN DEL ASENTAMIENTO (%)	FLUIDEZ (%)	VARIACIÓN DE LA FLUIDEZ (%)
0.40		Patrón	0	4	100.00	89.20	100.00
		Fibra 1 RC 65/60 BN	10	3 1/2	87.50	94.04	105.43
			15	3 3/4	93.75	95.04	106.55
			20	3 1/2	87.50	91.96	103.09
		Fibra 2 RC 80/60 BN	10	3 1/2	87.50	94.80	106.28
			15	3 1/4	81.25	82.00	91.93
20	3		75.00	79.60	89.24		
0.45		Patrón	0	4	100.00	92.80	100.00
		Fibra 1 RC 65/60 BN	10	3 1/4	81.25	93.32	100.56
			15	3 1/2	87.50	90.20	97.20
			20	3 1/2	87.50	92.48	99.66
		Fibra 2 RC 80/60 BN	10	3 3/4	93.75	94.96	102.33
			15	3 1/4	81.25	90.76	97.80
20	3		75.00	92.64	99.83		
0.50		Patrón	0	4	100.00	105.92	100.00
		Fibra 1 RC 65/60 BN	10	3 1/4	81.25	100.24	94.64
			15	3 3/4	93.75	98.32	92.82
			20	3 1/2	87.50	97.40	91.96
		Fibra 2 RC 80/60 BN	10	3 3/4	93.75	83.56	78.89
			15	3 1/2	87.50	81.88	77.30
20	3 1/4		81.25	74.32	70.17		

**CUADRO 5.1.2**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**  
**ENSAYO DE PESO UNITARIO**

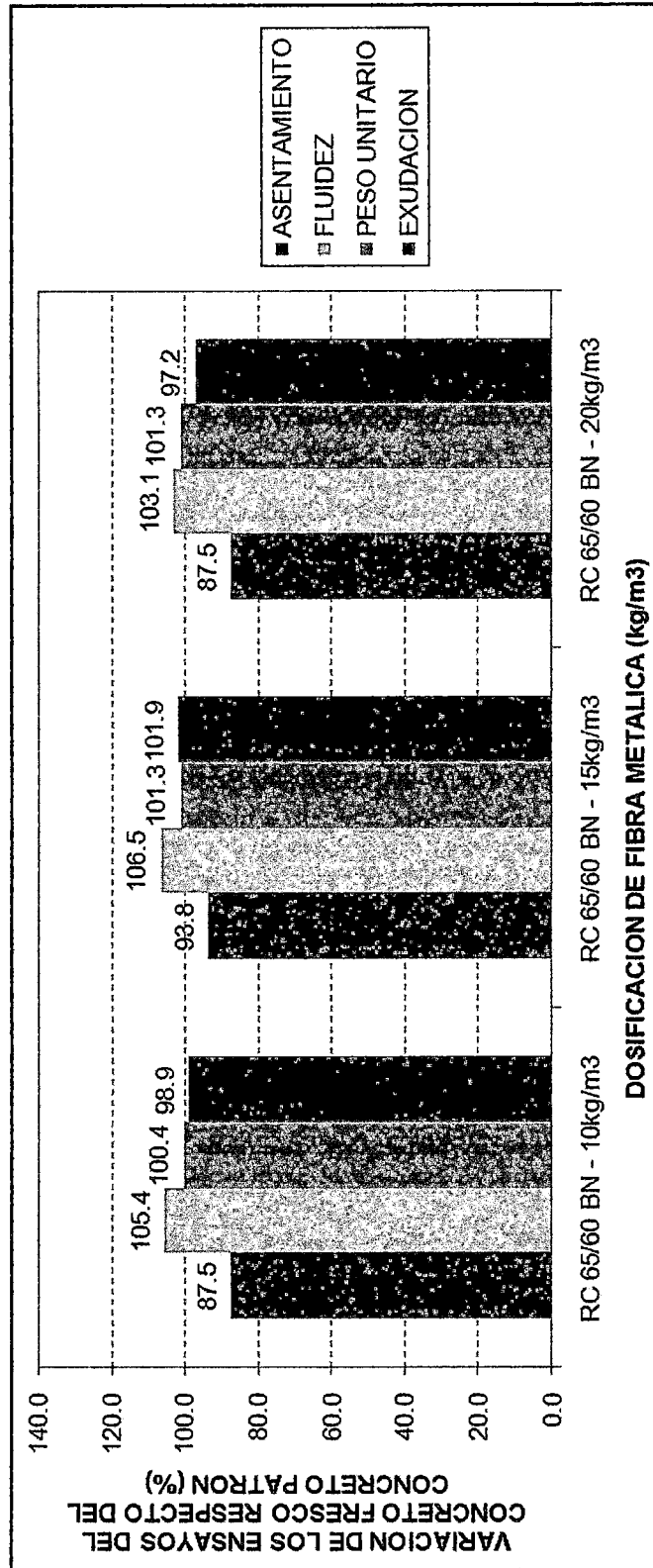
MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	VARIACIÓN DEL PESO UNITARIO (%)
a/c	DISEÑO			
0.40	Patrón	0	2329.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	2338.71	100.42
		15	2358.31	101.26
		20	2359.02	101.29
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	2348.43	100.83
		15	2351.96	100.99
20		2367.85	101.67	
0.45	Patrón	0	2362.55	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	2359.02	99.85
		15	2367.85	100.22
		20	2366.08	100.15
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	2378.44	100.67
		15	2381.97	100.82
20		2378.44	100.67	
0.50	Patrón	0	2389.04	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	2373.15	99.33
		15	2386.39	99.89
		20	2378.44	99.56
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	2403.16	100.59
		15	2397.87	100.37
20		2394.33	100.22	

**Cuadro 5.1.3: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN  
ENSAYO DE EXUDACIÓN Y TIEMPO DE FRAGUA**

MEZCLA	DISEÑO	FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	EXUDACION (%)	VARIACIÓN DE EXUDACIÓN (%)	T.F.I.		T.F.F.	
					(min)	VARIACIÓN %	(min)	VARIACIÓN %
0.40	Patrón	0	1.03	100.00	288	100.00	444	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	1.02	98.95	246	85.21	334	75.14
		15	1.05	101.91	262	90.90	380	85.42
	Fibra 2 RC 80/60 BN	20	1.00	97.17	261	90.66	380	85.63
		10	0.94	91.45	267	92.77	389	87.61
	15	0.85	82.80	262	90.80	378	85.16	
20	0.86	83.20	263	91.36	382	86.05		
0.45	Patrón	0	1.36	100.00	274	100.00	399	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	1.40	102.75	263	96.01	382	95.82
		15	1.34	98.16	290	106.01	422	105.69
	Fibra 2 RC 80/60 BN	20	1.29	94.64	272	99.42	405	101.52
		10	1.28	93.96	259	94.79	371	92.91
	15	1.24	91.11	273	99.67	409	102.62	
20	1.22	89.56	271	98.92	394	98.77		
0.50	Patrón	0	1.85	100.00	276	100.00	396	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	1.78	95.93	260	94.12	387	97.70
		15	1.72	92.70	259	93.75	381	96.24
	Fibra 2 RC 80/60 BN	20	1.79	96.74	270	97.69	397	100.18
		10	1.65	89.14	260	94.06	396	100.00
	15	1.68	91.00	261	94.63	389	98.08	
20	1.64	88.57	272	98.37	404	101.88		

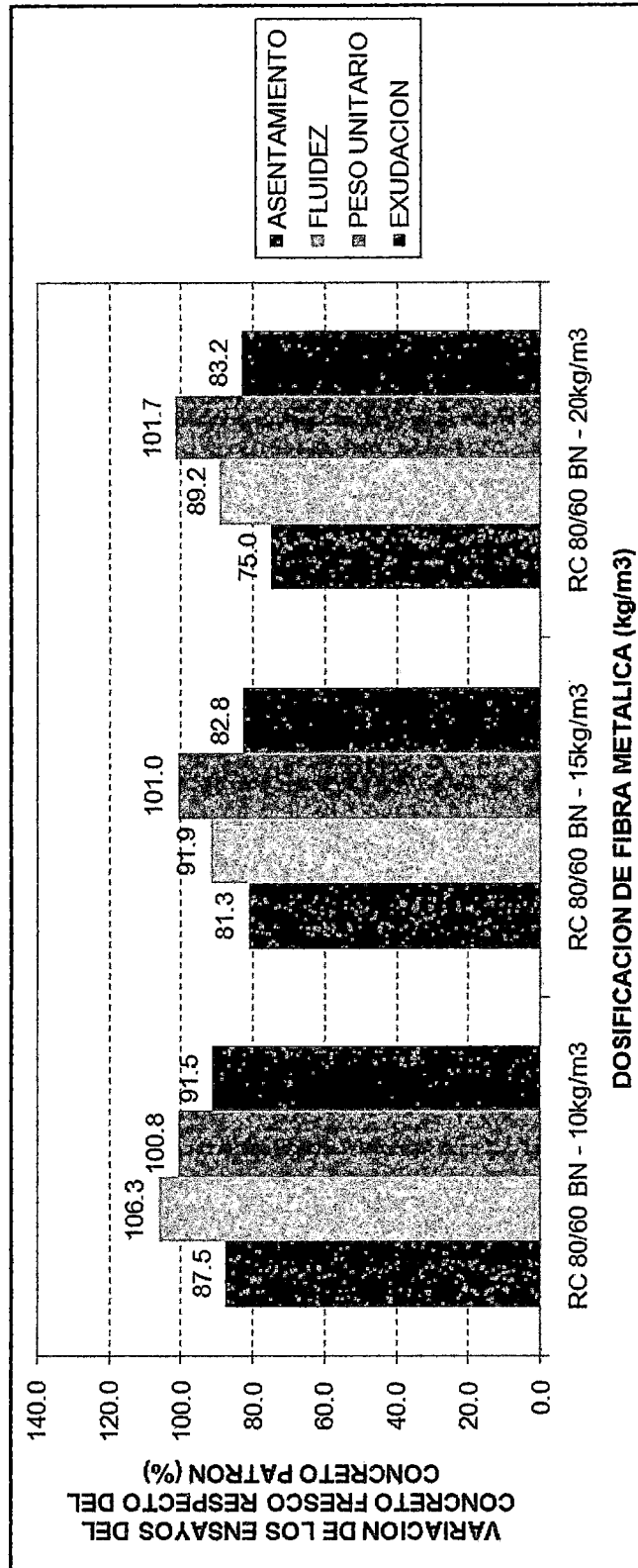
**GRÁFICO 5.1.1: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 1 – RC 65/60 BN)**

a/c = 0.40



**GRÁFICO 5.1.2: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 2 – RC 80/60 BN)**

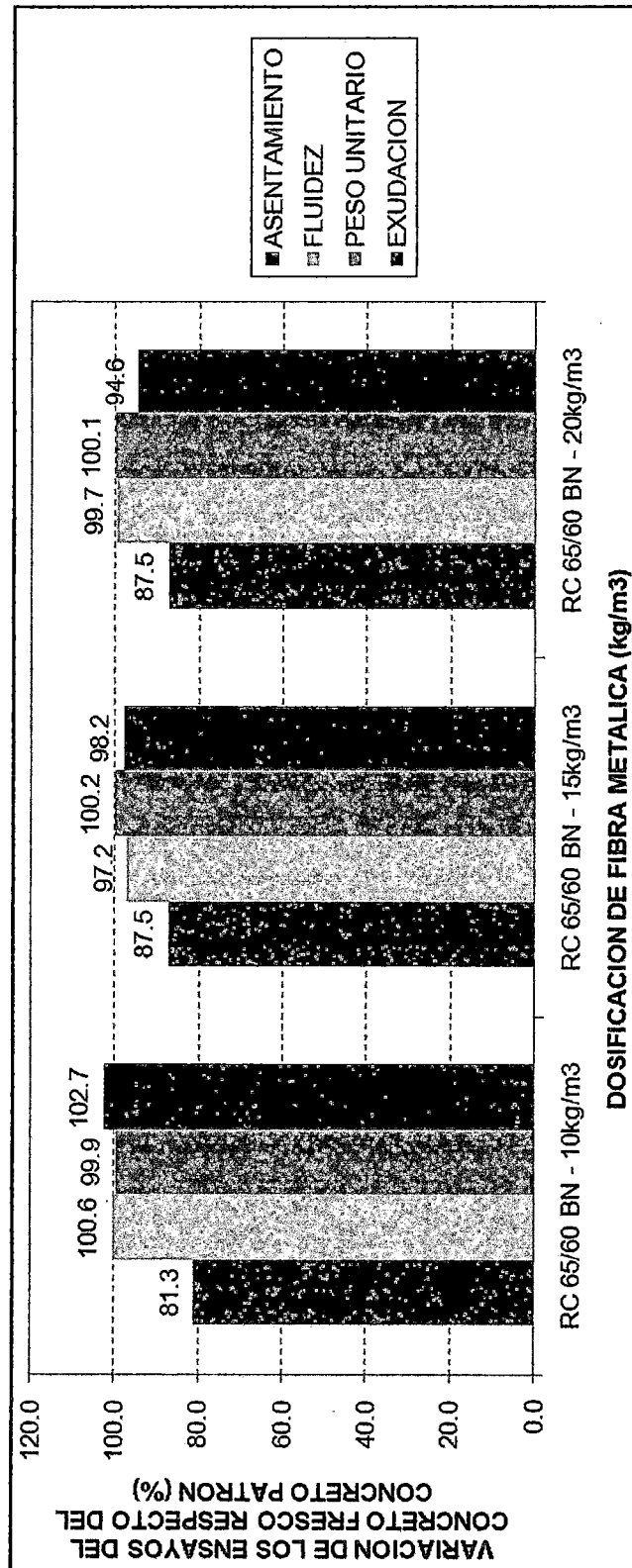
a/c = 0.40





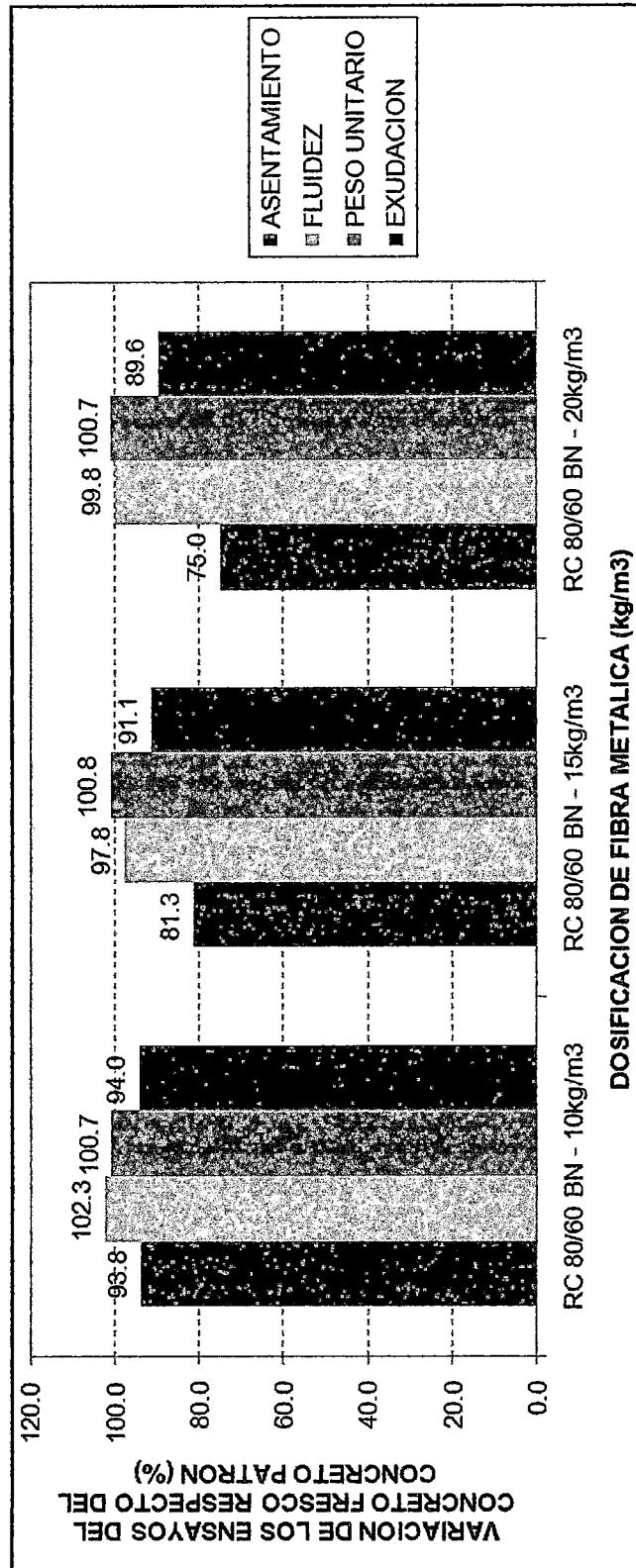
**GRÁFICO 5.1.3: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 1 – RC 65/60 BN)**

a/c = 0.45



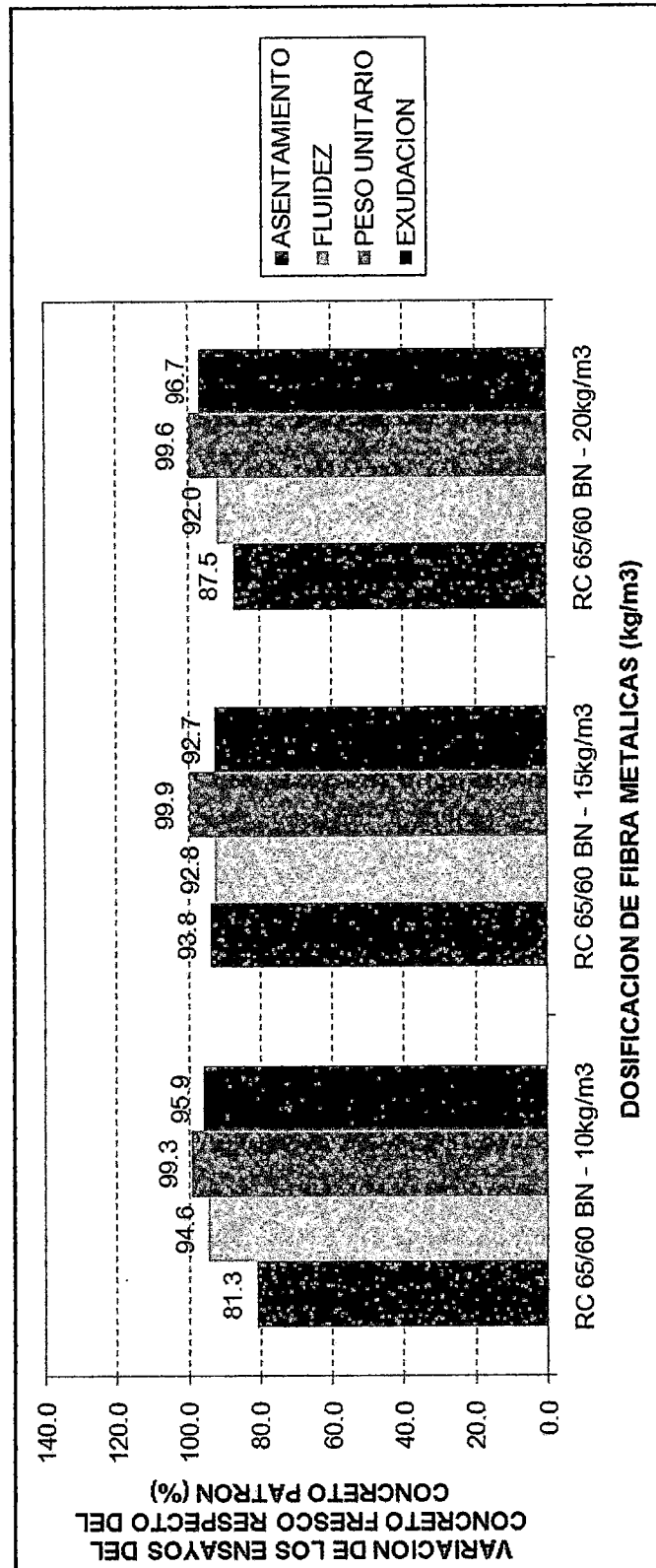
**GRÁFICO 5.1.4: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 2 – RC 80/60 BN)**

$a/c = 0.45$

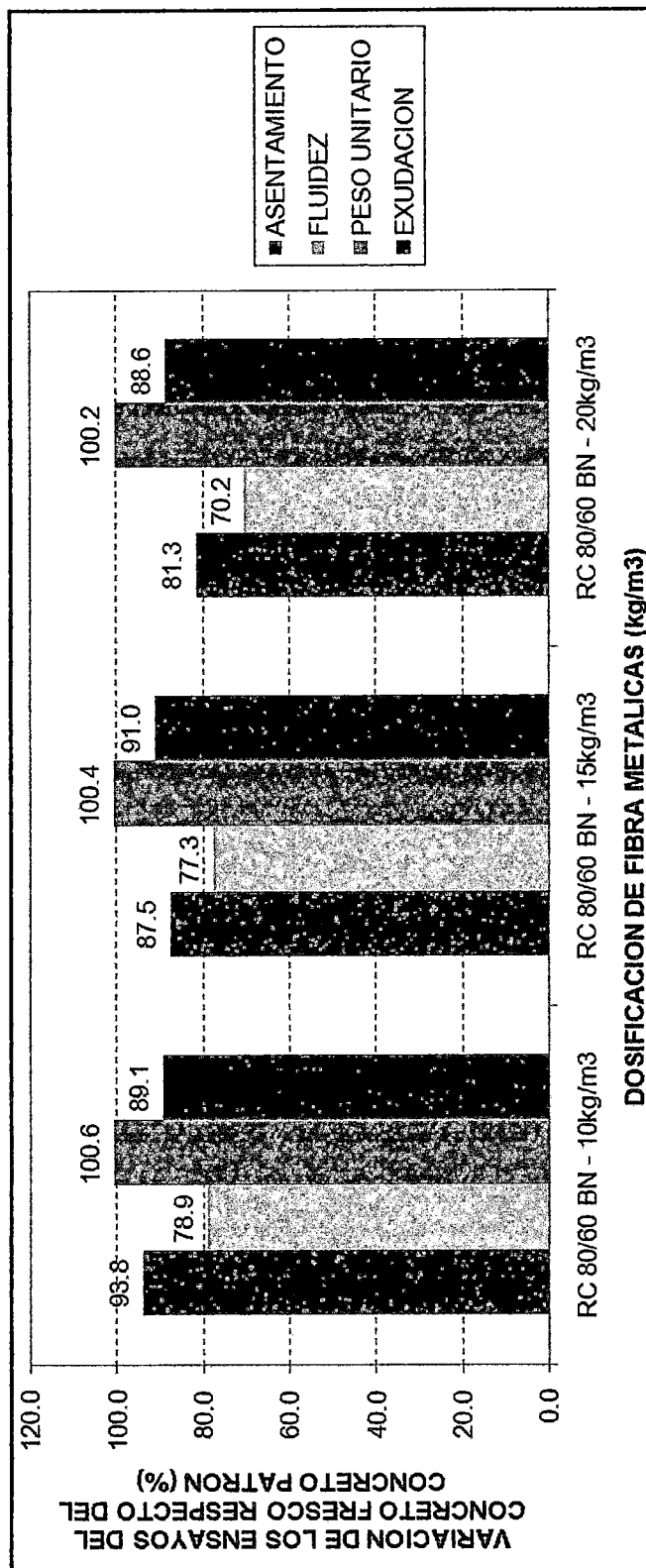


**GRÁFICO 5.1.5: VARIACION DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 1 – RC 65/60 BN)**

a/c = 0.50



**GRÁFICO 5.1.6: VARIACIÓN DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN vs. CANTIDAD DE FIBRA METÁLICA (FIBRA 2 – RC 80/60 BN)**  
 a/c = 0.50



## 5.2.2 Cuadros y gráficos comparativos de los ensayos del concreto en estado endurecido

A continuación se aprecia los gráficos y cuadros de los ensayos al concreto en estado endurecido

**CUADRO 5.2.1**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )			
			EDAD (días)			
a/c	DISEÑO		7	14	28	42
0.40	Patrón	0	100.00	100.00	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	101.33	102.75	101.28	98.22
		15	102.56	101.17	101.00	100.26
		20	102.01	103.60	100.75	100.95
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	101.76	101.57	103.57	101.19
		15	102.62	103.51	101.73	100.61
		20	102.44	106.55	103.97	103.47
0.45	Patrón	0	100.00	100.00	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	100.96	99.38	99.90	100.41
		15	99.95	100.45	99.97	99.69
		20	100.93	101.52	100.75	103.74
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	101.69	100.69	100.78	100.34
		15	100.81	101.74	100.79	103.77
		20	101.70	101.63	99.30	104.06
0.50	Patrón	0	100.00	100.00	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	98.81	102.77	103.39	99.24
		15	100.23	101.10	102.74	102.82
		20	102.09	103.79	102.38	101.53
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	102.68	102.13	103.82	98.92
		15	101.42	106.13	103.18	101.20
		20	101.73	104.97	103.40	102.72

**CUADRO 5.2.2**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO A LA**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )			
			EDAD (días)			
a/c	DISEÑO		7	14	28	42
0.40	Patrón	0	86.04	93.49	100.00	110.17
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	87.18	96.07	101.28	108.21
		15	88.24	94.59	101.00	110.46
		20	87.76	96.86	100.75	111.21
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	87.55	94.96	103.57	111.48
		15	88.29	96.78	101.73	110.84
		20	88.13	99.62	103.97	113.99
0.45	Patrón	0	87.76	92.29	100.00	108.78
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	88.60	91.72	99.90	109.22
		15	87.72	92.71	99.97	108.44
		20	88.57	93.70	100.75	112.84
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	89.24	92.93	100.78	109.15
		15	88.46	93.90	100.79	112.87
		20	89.25	93.80	99.30	113.19
0.50	Patrón	0	89.64	92.81	100.00	112.17
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	88.58	95.38	103.39	111.31
		15	89.85	93.84	102.74	115.33
		20	91.52	96.33	102.38	113.88
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	92.05	94.79	103.82	110.95
		15	90.92	98.50	103.18	113.51
		20	91.20	97.42	103.40	115.21

**CUADRO 5.2.3**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN**  
**DIAMETRAL (ft)**  
**(Edad 28 días)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (ft) (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN DEL ft (%)
a/c	DISEÑO			
0.40	Patrón	0	33.46	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	35.06	104.78
		15	34.05	101.76
		20	37.26	111.36
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	34.13	102.02
		15	35.69	106.68
20		37.96	113.47	
0.45	Patrón	0	31.68	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	33.05	104.33
		15	33.98	107.25
		20	33.53	105.84
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	33.64	106.18
		15	33.01	104.20
20		33.86	106.87	
0.50	Patrón	0	24.02	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	29.07	120.98
		15	29.98	124.80
		20	31.80	132.35
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	30.40	126.56
		15	30.06	125.10
20		31.79	132.34	

**CUADRO 5.2.4**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**  
**(Edad 28 días)**

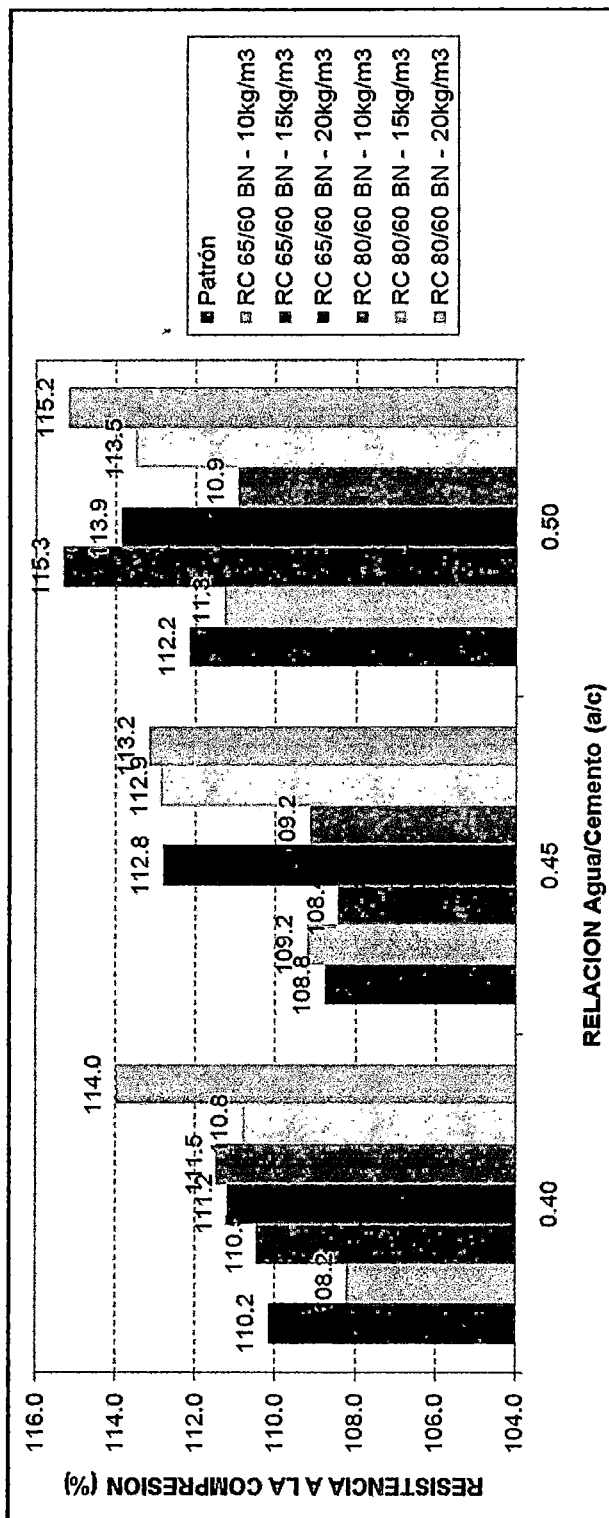
MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	MÓDULO DE ROTURA (Mr) (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN DEL Mr (kg/cm <sup>2</sup> )
a/c	DISEÑO			
0.40	Patrón	0	42.41	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	38.90	91.72
		15	41.15	97.02
		20	44.32	104.51
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	43.49	102.54
		15	43.41	102.34
		20	46.31	109.18
0.45	Patrón	0	38.97	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	35.76	91.75
		15	39.27	100.77
		20	43.09	110.56
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	39.65	101.74
		15	41.70	107.01
		20	42.89	110.05
0.50	Patrón	0	29.05	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	33.45	115.14
		15	35.23	121.26
		20	35.46	122.07
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	36.33	125.03
		15	36.24	124.75
		20	38.95	134.06



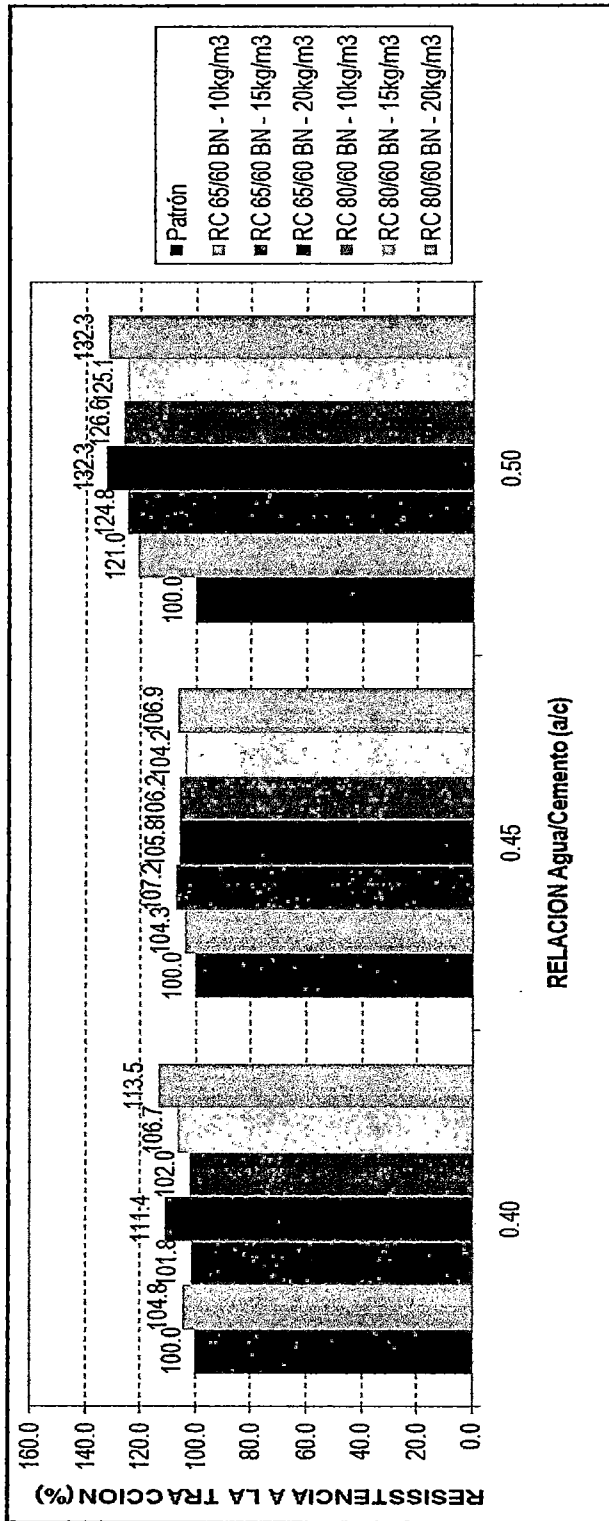
**CUADRO 5.2.5**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO CON RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN**  
**ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE)**  
**(Edad 28 días)**

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE) (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN DEL MEE (kg/cm <sup>2</sup> )
a/c	DISEÑO			
0.40	Patrón	0	281978.38	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	306310.49	108.63
		15	299213.44	106.11
		20	300842.64	106.69
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	317793.91	112.70
		15	311265.19	110.39
20		323011.61	114.55	
0.45	Patrón	0	278217.24	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	294183.80	105.74
		15	293728.52	105.58
		20	298233.25	107.19
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	288657.97	103.75
		15	291375.61	104.73
20		301627.89	108.41	
0.50	Patrón	0	263752.09	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	266228.96	100.94
		15	279531.02	105.98
		20	261284.74	99.06
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	264578.62	100.31
		15	274037.31	103.90
20		271681.08	103.01	

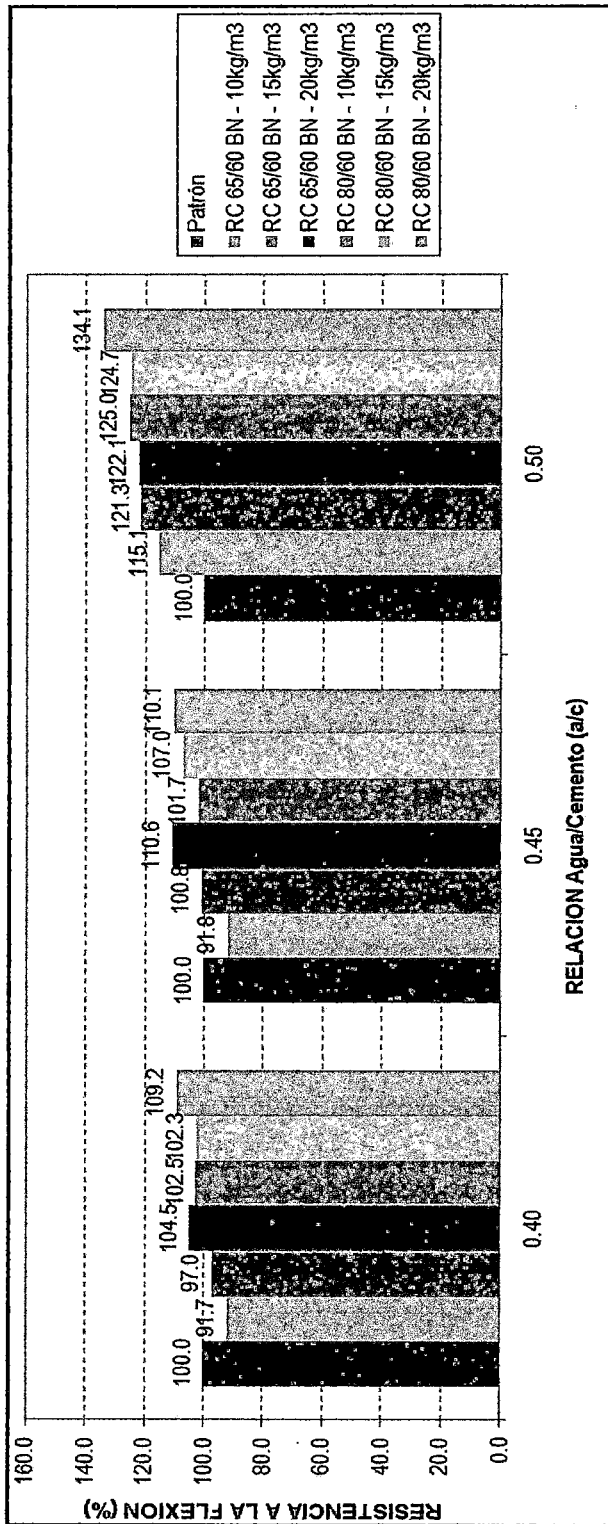
**GRÁFICO 5.2.1: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN  
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (F<sub>c</sub>)  
(42 días)**



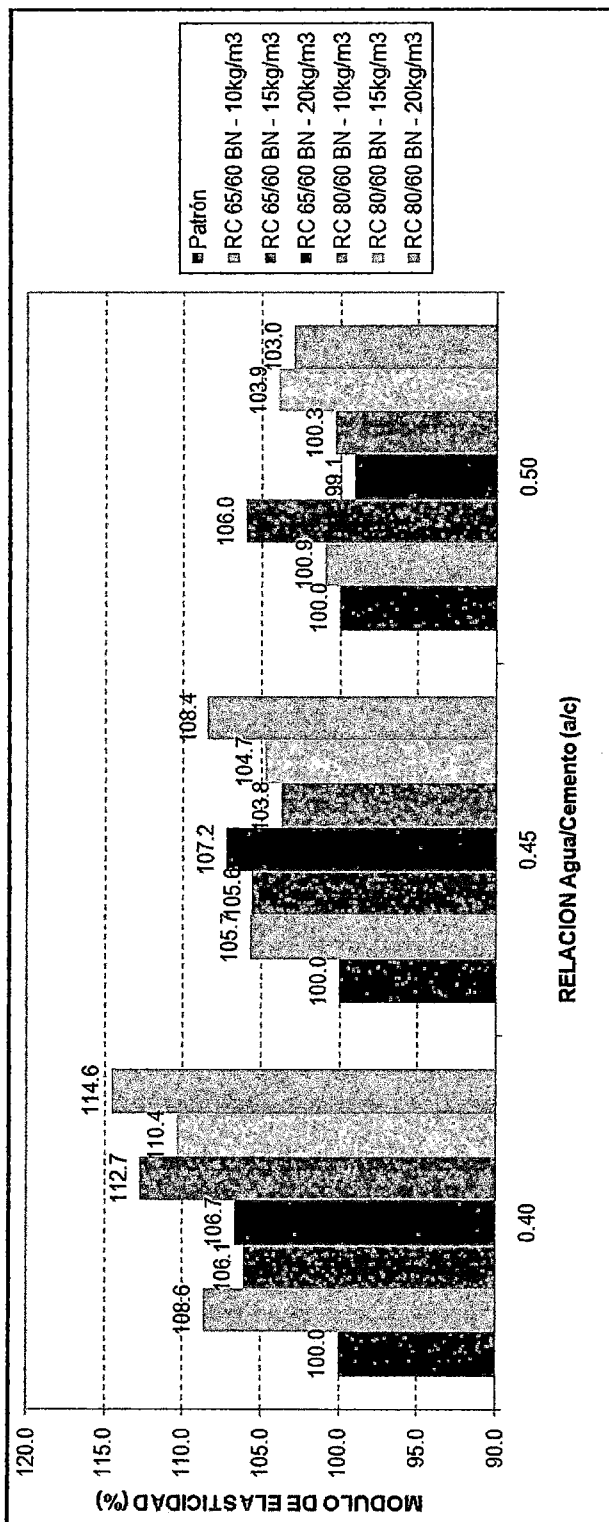
**GRÁFICO 5.2.2: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN  
 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (ft)  
 (28 días)**



**GRÁFICO 5.2.3: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN  
 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mf)  
 (28 días)**



**GRÁFICO 5.2.4: ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN  
 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE)  
 (28 días)**



## 5.3 Análisis de los resultados

### 5.3.1 Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco

#### Consistencia

1. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar que para la relación  $a/c = 0.40$ , el concreto patrón obtuvo 4" de Slump, este valor nos representa el 100% de referencia.
  - Para la relación  $a/c = 0.40$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los Slump fueron 3 1/2", 3 3/4" y 3 1/2", los mismos que representan 87.5%, 93.75% y 87.5% respectivamente del Slump del concreto patrón.
  - Para la relación  $a/c = 0.40$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los Slump fueron 3 1/2", 3 1/4" y 3", los mismos que representan 87.5%, 81.25% y 75% respectivamente del Slump del concreto patrón.
2. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar que para la relación  $a/c = 0.45$ , el concreto patrón obtuvo 4" de Slump, este valor nos representa el 100% de referencia.
  - Para la relación  $a/c = 0.45$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los Slump fueron 3 1/4", 3 1/2" y 3 1/2", los mismos que representan 81.25%, 87.5% y 87.5% respectivamente del Slump del concreto patrón.
  - Para la relación  $a/c = 0.45$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los Slump fueron 3 3/4", 3 1/4" y 3", los mismos que representan 93.75%, 81.25% y 75% respectivamente del Slump del concreto patrón.
3. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar que para la relación  $a/c = 0.50$ , el concreto patrón obtuvo 4" de Slump, este valor nos representa el 100% de referencia.
  - Para la relación  $a/c = 0.50$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los Slump fueron 3 1/4", 3 3/4" y 3 1/2", los mismos que representan 81.25%, 93.75% y 87.5% respectivamente del Slump del concreto patrón.

- Para la relación  $a/c = 0.50$ , con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los Slump fueron  $3\ 3/4"$ ,  $3\ 1/2"$  y  $3\ 1/4"$ , los mismos que representan 93.75%, 87.5% y 81.25% respectivamente del Slump del concreto patrón.

En todas las relaciones  $a/c$  utilizadas, se obtiene un asentamiento que se encuentra dentro del rango de  $3"$  a  $4"$ , es decir se ha utilizado mezclas de consistencia plástica (trabajable)

### Fluidez

1. La medición de la fluidez, se realizó mediante la mesa de sacudidas ó mesa de flujo.
2. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar los siguiente:
  - Para la relación  $a/c = 0.40$ , el concreto patrón tiene un porcentaje de fluidez del 89.20% y este valor representará el 100% de referencia.
  - Para esta relación con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los % de fluidez fueron 94.04%, 95.04% y 91.96%, los mismos que representan 105.43%, 106.55% y 103.09% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.
  - Para esta relación con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los % de fluidez fueron 94.80%, 82% y 79.6%, los mismos que representan 106.28%, 91.93% y 89.24% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.
3. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar los siguiente:
  - Para la relación  $a/c = 0.45$ , el concreto patrón tiene un porcentaje de fluidez del 92.80% y este valor representará el 100% de referencia.
  - Para esta relación con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los % de fluidez fueron 93.32%, 90.2% y 92.48%, los mismos que representan 100.56%, 97.2% y 99.66% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.
  - Para esta relación con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los % de fluidez fueron 94.96%, 90.76% y 92.64%, los mismos que representan 102.33%, 97.8% y 99.83% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.
4. Del Cuadro 5.1.1 se puede observar los siguiente:

- Para la relación  $a/c = 0.50$ , el concreto patrón tiene un porcentaje de fluidez del 105.92% y este valor representará el 100% de referencia.
- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los % de fluidez fueron 100.24%, 98.32% y 97.4%, los mismos que representan 94.64%, 92.82% y 91.96% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.
- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los % de fluidez fueron 83.56%, 81.88% y 74.32%, los mismos que representan 78.89%, 77.3% y 70.17% respectivamente del % de fluidez del concreto patrón.

La fluidez se incrementa cuando la relación de  $a/c$  es mayor, pero va decayendo debido al incremento en la dosificación de fibra metálica.

### **Peso Unitario**

1. Del cuadro 5.1.2, se observa que el peso unitario del concreto patrón para la relación  $a/c = 0.40$ , es 2329 kg/m<sup>3</sup>, el cual representa el 100%.
  - Para la relación  $a/c = 0.40$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los pesos unitarios fueron 2329 kg/m<sup>3</sup>, 2338.71 kg/m<sup>3</sup> y 2358.31 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 100.42%, 101.26% y 101.29% respectivamente del peso unitario patrón.
  - Para la relación  $a/c = 0.40$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los pesos unitarios fueron 2348.43 kg/m<sup>3</sup>, 2351.96 kg/m<sup>3</sup> y 2367.85 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 100.83%, 100.99% y 101.67% respectivamente del peso unitario patrón.
2. Del cuadro 5.1.2, se observa que el peso unitario del concreto patrón para la relación  $a/c = 0.45$ , es 2362.55 kg/m<sup>3</sup>, el cual representa el 100%.
  - Para la relación  $a/c = 0.45$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los pesos unitarios fueron 2359.02 kg/m<sup>3</sup>, 2367.85 kg/m<sup>3</sup> y 2366.08 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 99.85%, 100.22% y 100.15% respectivamente del peso unitario patrón.
  - Para la relación  $a/c = 0.45$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los pesos unitarios fueron 2378.44 kg/m<sup>3</sup>, 2381.97 kg/m<sup>3</sup> y 2378.44 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 100.67%, 100.82% y 100.67% respectivamente del peso unitario patrón.



3. Del cuadro 5.1.2, se observa que el peso unitario del concreto patrón para la relación  $a/c = 0.50$ , es 2389.04 kg/m<sup>3</sup>, el cual representa el 100%.

- Para la relación  $a/c = 0.50$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), los pesos unitarios fueron 2373.15 kg/m<sup>3</sup>, 2386.39 kg/m<sup>3</sup> y 2378.44 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 99.33%, 99.89% y 99.56% respectivamente del peso unitario patrón.

- Para la relación  $a/c = 0.50$ , con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), los pesos unitarios fueron 2403.16 kg/m<sup>3</sup>, 2397.87 kg/m<sup>3</sup> y 2394.33 kg/m<sup>3</sup>, los mismos que representan el 100.59%, 100.37% y 101.22% respectivamente del peso unitario patrón.

Además podemos observar de los resultados obtenidos que para mayor dosificación de fibra metálica, se incrementa el peso unitario.

### **Exudación**

1. Los valores de los resultados del ensayo de Exudación del concreto fresco, lo ubicamos en el cuadro comparativo 5.1.3, donde se realiza la comparación de la Exudación respecto del concreto patrón, el cual representa el 100%.

2. Para la relación  $a/c = 0.40$ , el valor de la exudación para el concreto patrón es de 1.03% y representa el 100% de referencia.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la exudación fue de 1.02%, 1.05% y 1%, los mismos que representan 98.95%, 101.91% y 97.17% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la exudación fue de 0.94%, 0.85% y 0.86%, los mismos que representan 91.45%, 82.8% y 83.2% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

3. Para la relación  $a/c = 0.45$ , el valor de la exudación para el concreto patrón es de 1.36% y representa el 100% de referencia.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la exudación fue de 1.40%, 1.34% y 1.29%, los mismos que representan 102.75%, 98.16% y 94.64% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la exudación fue de 1.28%, 1.24% y 1.22%, los mismos que representan 93.96%, 91.11% y 89.56% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
- 4. Para la relación a/c = 0.50, el valor de la exudación para el concreto patrón es de 1.85% y representa el 100% de referencia.
- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la exudación fue de 1.78%, 1.72% y 1.79%, los mismos que representan 95.93%, 92.7% y 96.74% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la exudación fue de 1.65%, 1.68% y 1.64%, los mismos que representan 89.14%, 91% y 88.57% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

La exudación disminuye considerablemente conforma la relación a/c es menor y la dosificación de fibra metálica incrementa.

### **Tiempo de Fraguado Inicial**

1. Los valores de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado inicial del concreto fresco, lo ubicamos en el cuadro comparativo 5.1.3, donde se realiza la comparación del tiempo de fraguado inicial respecto del concreto patrón, el cual representa el 100%.
2. Para la relación a/c = 0.40, el valor del tiempo de fraguado inicial para el concreto patrón es de 288min y representa el 100% de referencia.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 246min, 262min y 261min, los mismos que representan 85.21%, 90.9% y 90.66% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 267min, 262min y 263min, los mismos que representan 92.77%, 90.8% y 91.36% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
3. Para la relación a/c = 0.45, el valor del tiempo de fraguado inicial para el concreto patrón es de 274min y representa el 100% de referencia.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 263min, 290min y 272min, los mismos que representan 96.01%, 106.01% y 99.42% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 259min, 273min y 271min, los mismos que representan 94.79%, 99.67% y 98.92% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
4. Para la relación a/c = 0.50, el valor del tiempo de fraguado inicial para el concreto patrón es de 276min y representa el 100% de referencia.
- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 260min, 259min y 270min, los mismos que representan 94.12%, 93.75% y 97.69% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado inicial fue de 260min, 261min y 272min, los mismos que representan 94.06%, 94.63% y 98.37% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

El tiempo de fragua inicial se incrementa conforme aumenta la dosificación de la fibra metálica.

### **Tiempo de Fraguado Final**

1. Los valores de los resultados del ensayo de tiempo de fraguado final del concreto fresco, lo ubicamos en el cuadro comparativo 5.1.3, donde se realiza la comparación del tiempo de fraguado final respecto del concreto patrón, el cual representa el 100%.
2. Para la relación a/c = 0.40, el valor del tiempo de fraguado final para el concreto patrón es de 444min y representa el 100% de referencia.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 334min, 380min y 380min, los mismos que representan 75.14%, 85.42% y 85.63% respectivamente de la exudación del concreto patrón.
  - Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 389min, 378min y

382min, los mismos que representan 87.61%, 85.16% y 86.05% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

3. Para la relación  $a/c = 0.45$ , el valor del tiempo de fraguado final para el concreto patrón es de 399min y representa el 100% de referencia.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 382min, 422min y 405min, los mismos que representan 95.82%, 105.69% y 101.52% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 371min, 409min y 394min, los mismos que representan 92.91%, 102.62% y 98.77% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

4. Para la relación  $a/c = 0.50$ , el valor del tiempo de fraguado final para el concreto patrón es de 396min y representa el 100% de referencia.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 387min, 381min y 397min, los mismos que representan 97.7%, 96.24% y 100.18% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

- Para esta relación con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el tiempo de fraguado final fue de 396min, 389min y 404min, los mismos que representan 100%, 98.08% y 101.88% respectivamente de la exudación del concreto patrón.

El tiempo de fragua final se incrementa conforme aumenta la dosificación de la fibra metálica.

### 5.3.2 Análisis de los resultados de los ensayos del concreto en estado endurecido

#### Ensayo de Resistencia a la Compresión

Primero se realizará un análisis del concreto patrón, el cual nos ayudará como referencia, para el análisis de la variación del concreto con fibra metálica.

#### Concreto Patrón

1. Para la relación  $a/c = 0.40$ , se obtuvo una resistencia a la compresión a los 07 días de 329.23 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días 357.76 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días 382.66 kg/cm<sup>2</sup> y a los 42 días 421.58 kg/cm<sup>2</sup> (ver cuadro 4.2.1).
2. Para la relación  $a/c = 0.45$ , se obtuvo una resistencia a la compresión a los 07 días de 321.40 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días 338.02 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días 366.25 kg/cm<sup>2</sup> y a los 42 días 398.89 kg/cm<sup>2</sup> (ver cuadro 4.2.1).
3. Para la relación  $a/c = 0.50$ , se obtuvo una resistencia a la compresión a los 07 días de 300.22 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días 310.83 kg/cm<sup>2</sup>, a los 28 días 334.9 kg/cm<sup>2</sup> y a los 42 días 375.65 kg/cm<sup>2</sup> (ver cuadro 4.2.1).

#### Concreto con Fibras Metálicas – relación $a/c = 0.40$

Del Cuadro 4.2.1 y Cuadro 5.2.1, se tiene lo siguiente:

1. Para los 07 días:
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 333.59 kg/cm<sup>2</sup>, 337.65 kg/cm<sup>2</sup> y 335.83 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.33%, 102.56% y 102.01% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (329.23 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 335.02 kg/cm<sup>2</sup>, 337.84 kg/cm<sup>2</sup> y 337.24 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.76%, 102.62% y 102.44% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (329.23 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
2. Para los 14 días
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 367.61 kg/cm<sup>2</sup>, 361.96 kg/cm<sup>2</sup> y

370.65 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 102.75%, 101.17% y 103.6% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (357.76 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 363.36 kg/cm<sup>2</sup>, 370.32 kg/cm<sup>2</sup> y 381.19 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.57%, 103.51% y 106.55% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (357.76 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

### 3. Para los 28 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 387.54 kg/cm<sup>2</sup>, 386.47 kg/cm<sup>2</sup> y 385.52 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.28%, 101% y 100.75% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (382.66 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 396.33 kg/cm<sup>2</sup>, 389.27 kg/cm<sup>2</sup> y 397.86 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 103.57%, 101.73% y 103.97% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (382.66 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

### 4. Para los 42 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 414.07 kg/cm<sup>2</sup>, 422.7 kg/cm<sup>2</sup> y 425.57 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 98.22%, 100.26% y 100.95% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (421.58 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 426.6 kg/cm<sup>2</sup>, 424.14 kg/cm<sup>2</sup> y 436.21 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.19%, 100.61% y 103.47% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (421.58 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

También se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días, entonces en el Cuadro 5.2.2 nos muestra lo siguiente:

#### 1. Para la Fibra 1 (RC 65/60 BN) se tiene:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 87.18%, 96.07% y 108.21%.

- Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.24%, 94.59% y 110.46%.
  - Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 87.76%, 96.86% y 111.21%.
2. Para la Fibra 2 (RC 80/60 BN) se tiene:
- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 87.55%, 94.96% y 111.48%.
  - Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.29%, 96.78% y 110.85%.
  - Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.13%, 99.62% y 113.99%.

### **Concreto con Fibras Metálicas – relación a/c = 0.45**

Del Cuadro 4.2.1 y Cuadro 5.2.1, se tiene lo siguiente:

1. Para los 07 días:

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 324.49 kg/cm<sup>2</sup>, 321.26 kg/cm<sup>2</sup> y 324.39 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 100.96%, 99.95% y 100.93% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (321.4 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 326.84 kg/cm<sup>2</sup>, 324 kg/cm<sup>2</sup> y 326.86 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 101.69%, 100.81% y 101.7% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (321.4 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

2. Para los 14 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 335.91 kg/cm<sup>2</sup>, 339.55 kg/cm<sup>2</sup> y 343.17 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 99.38%, 100.45% y 101.52% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (338.02 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 340.37 kg/cm<sup>2</sup>, 343.9 kg/cm<sup>2</sup> y 343.54 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 100.69%, 101.74% y

101.63% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (338.02 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

3. Para los 28 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 365.88 kg/cm<sup>2</sup>, 366.14 kg/cm<sup>2</sup> y 369.01 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 99.9%, 99.97% y 100.75% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (366.25 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 369.1 kg/cm<sup>2</sup>, 369.13 kg/cm<sup>2</sup> y 363.7 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 100.78%, 100.79% y 99.3% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (366.25 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

4. Para los 42 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 400.02 kg/cm<sup>2</sup>, 397.15 kg/cm<sup>2</sup> y 413.27 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 100.41%, 99.69% y 103.74% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (398.39 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 399.76 kg/cm<sup>2</sup>, 413.4 kg/cm<sup>2</sup> y 414.55 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 100.34%, 103.77% y 104.06% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (398.39 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

También se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días, entonces en el Cuadro 5.2.2 nos muestra lo siguiente:

1. Para la Fibra 1 (RC 65/60 BN) se tiene:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.6%, 91.72% y 109.22%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 87.72%, 92.71% y 108.44%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.57%, 93.7% y 112.84%.

2. Para la Fibra 2 (RC 80/60 BN) se tiene:



- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 89.24%, 92.93% y 109.15%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.46%, 93.9% y 112.87%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 89.25%, 93.8% y 113.19%.

### **Concreto con Fibras Metálicas – relación a/c = 0.50**

Del Cuadro 4.2.1 y Cuadro 5.2.1, se tiene lo siguiente:

#### 1. Para los 07 días:

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 296.64 kg/cm<sup>2</sup>, 300.91 kg/cm<sup>2</sup> y 306.5 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 98.81%, 100.23% y 102.09% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (300.22 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 308.28 kg/cm<sup>2</sup>, 304.49 kg/cm<sup>2</sup> y 305.42 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 102.68%, 101.42% y 101.73% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (300.22 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

#### 2. Para los 14 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 319.43 kg/cm<sup>2</sup>, 314.26 kg/cm<sup>2</sup> y 322.6 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 102.77%, 101.1% y 103.79% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (310.83 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 317.46 kg/cm<sup>2</sup>, 329.87 kg/cm<sup>2</sup> y 326.28 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 102.13%, 106.13% y 104.97% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (310.83 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

#### 3. Para los 28 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 346.16 kg/cm<sup>2</sup>, 344.1 kg/cm<sup>2</sup> y 342.87 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 103.39%, 102.74% y

102.38% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (334.9 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 347.7 kg/cm<sup>2</sup>, 345.55 kg/cm<sup>2</sup> y 346.29 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 103.82%, 103.18% y 103.4% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (334.9 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

#### 4. Para los 42 días

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la compresión fue 372.78 kg/cm<sup>2</sup>, 386.26 kg/cm<sup>2</sup> y 381.39 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 99.24%, 102.82% y 101.53% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (375.65 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la compresión fue 371.57 kg/cm<sup>2</sup>, 380.15 kg/cm<sup>2</sup> y 385.85 kg/cm<sup>2</sup>, las mismas que representan el 98.92%, 101.2% y 102.72% respectivamente de la resistencia a la compresión del concreto patrón (375.65 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

También se adiciona un análisis comparando las resistencias a la compresión respecto a los 28 días, entonces en el Cuadro 5.2.2 nos muestra lo siguiente:

#### 1. Para la Fibra 1 (RC 65/60 BN) se tiene:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 88.58%, 95.38% y 111.31%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 89.85%, 93.84% y 102.74%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 91.52%, 96.33% y 102.38%.

#### 2. Para la Fibra 2 (RC 80/60 BN) se tiene:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 92.05%, 94.79% y 110.95%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 90.92%, 98.5% y 113.51%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> la resistencia a la compresión para 07, 14 y 42 días, varía en 91.2%, 97.42% y 115.21%.

Entonces se observa que la resistencia a la compresión aumenta conforme disminuye la relación  $a/c$ , y se adiciona más cantidad de fibra metálica.

### **Ensayo de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral**

Primero se realizará un análisis del concreto patrón, el cual nos ayudará como referencia, para el análisis de la variación del concreto con fibra metálica.

1. Para la relación  $a/c = 0.40, 0.45$  Y  $0.50$  se obtuvo una resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días de  $33.46 \text{ kg/cm}^2$ ,  $31.68 \text{ kg/cm}^2$  y  $24.02 \text{ kg/cm}^2$  (ver cuadro 4.2.2), los cuales representan el 100%, como referencia para los análisis.
2. Del Cuadro 5.2.3, se tiene para la relación  $a/c = 0.40$ 
  - Con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de  $35.06 \text{ kg/cm}^2$ ,  $34.05 \text{ kg/cm}^2$  y  $37.26 \text{ kg/cm}^2$ , los mismos que representan  $104.78\%$ ,  $101.76\%$  y  $111.36\%$  respectivamente de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón ( $33.46 \text{ kg/cm}^2$  que representa el 100%).
  - Con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de  $34.13 \text{ kg/cm}^2$ ,  $35.69 \text{ kg/cm}^2$  y  $37.96 \text{ kg/cm}^2$ , los mismos que representan  $102.02\%$ ,  $106.68\%$  y  $113.47\%$  respectivamente de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón ( $33.46 \text{ kg/cm}^2$  que representa el 100%).
3. Del Cuadro 5.2.3, se tiene para la relación  $a/c = 0.45$ 
  - Con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de  $33.05 \text{ kg/cm}^2$ ,  $33.98 \text{ kg/cm}^2$  y  $33.53 \text{ kg/cm}^2$ , los mismos que representan  $104.33\%$ ,  $107.25\%$  y  $105.84\%$  respectivamente de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón ( $31.68 \text{ kg/cm}^2$  que representa el 100%).
  - Con  $10\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$  y  $20\text{kg/m}^3$  de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de  $33.64 \text{ kg/cm}^2$ ,  $33.01 \text{ kg/cm}^2$  y  $33.86 \text{ kg/cm}^2$ , los mismos que representan  $106.18\%$ ,  $104.2\%$  y  $106.87\%$  respectivamente de resistencia a la tracción

por compresión diametral del concreto patrón (31.68 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

4. Del Cuadro 5.2.3, se tiene para la relación  $a/c = 0.50$

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de 29.07 kg/cm<sup>2</sup>, 29.98 kg/cm<sup>2</sup> y 31.8 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 120.98%, 124.8% y 132.35% respectivamente de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón (24.02 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), la resistencia a la tracción por compresión diametral fue de 30.4 kg/cm<sup>2</sup>, 30.06 kg/cm<sup>2</sup> y 31.79 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 126.56%, 125.1% y 132.34% respectivamente de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón (24.02 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

De los resultados obtenidos podemos decir que para las relaciones  $a/c = 0.40$ ,  $0.45$  y  $0.50$  se tiene una mejoría en los resultados adicionándole fibra metálica, influyendo más para una mayor dosificación y menor relación  $a/c$ .

### **Ensayo de Resistencia a la Flexión**

Primero se realizará un análisis del concreto patrón, el cual nos ayudará como referencia, para el análisis de la variación del concreto con fibra metálica.

1. Para la relación  $a/c = 0.40$ ,  $0.45$  Y  $0.50$  se obtuvo un módulo de rotura a los 28 días de 42.41 kg/cm<sup>2</sup>, 38.97 kg/cm<sup>2</sup> y 29.05 kg/cm<sup>2</sup> (ver cuadro 4.2.3), los cuales representan el 100%, como referencia para los análisis.
2. Del Cuadro 5.2.4, se tiene para la relación  $a/c = 0.40$ 
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de rotura fue de 38.9 kg/cm<sup>2</sup>, 41.15kg/cm<sup>2</sup> y 44.32 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 91.72%, 97.02% y 104.51% respectivamente del módulo de rotura del concreto patrón (42.41 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de rotura fue de 43.49 kg/cm<sup>2</sup>, 43.41 kg/cm<sup>2</sup> y 46.31 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 102.54%, 102.34% y 109.18%

respectivamente del módulo del concreto patrón (42.41 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

3. Del Cuadro 5.2.4, se tiene para la relación  $a/c = 0.45$

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de rotura fue de 35.76 kg/cm<sup>2</sup>, 39.27 kg/cm<sup>2</sup> y 43.09 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 91.75%, 100.77% y 110.56% respectivamente del módulo de rotura del concreto patrón (38.97 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de rotura fue de 39.65 kg/cm<sup>2</sup>, 41.7 kg/cm<sup>2</sup> y 42.89 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 101.74%, 107.01% y 110.05% respectivamente del módulo de rotura del concreto patrón (38.97 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

4. Del Cuadro 5.2.4, se tiene para la relación  $a/c = 0.50$

- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de rotura fue de 33.45 kg/cm<sup>2</sup>, 35.23 kg/cm<sup>2</sup> y 35.46 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 115.14%, 121.26% y 122.07% respectivamente del módulo del concreto patrón (29.05 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
- Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de rotura fue de 36.33 kg/cm<sup>2</sup>, 36.24 kg/cm<sup>2</sup> y 38.95 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 125.03%, 124.75% y 134.06% respectivamente del módulo de rotura del concreto patrón (29.05 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

De los resultados obtenidos podemos decir que para las relaciones  $a/c = 0.40$ ,  $0.45$  y  $0.50$  existe una mejoría en los resultados adicionándole fibra metálica, influyendo más para una mayor dosificación y menor relación  $a/c$ .

### **Ensayo de Módulo de Elasticidad Estático**

Primero se realizará un análisis del concreto patrón, el cual nos ayudará como referencia, para el análisis de la variación del concreto con fibra metálica.

1. Para la relación  $a/c = 0.40$ ,  $0.45$  Y  $0.50$  se obtuvo un módulo de rotura a los 28 días de 281978.38 kg/cm<sup>2</sup>, 278217.24 kg/cm<sup>2</sup> y 2637552.09 kg/cm<sup>2</sup> (ver cuadro 4.2.4), los cuales representan el 100%, como referencia para los análisis.

2. Del Cuadro 5.2.5, se tiene para la relación  $a/c = 0.40$ 
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de elasticidad fue 306310.49 kg/cm<sup>2</sup>, 299213.44 kg/cm<sup>2</sup> y 300842.64 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 108.63%, 106.11% y 106.69% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (281978.38 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de elasticidad fue 317793.91 kg/cm<sup>2</sup>, 311265.19 kg/cm<sup>2</sup> y 323011.61 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 112.7%, 110.39% y 114.55% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (281978.38 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
3. Del Cuadro 5.2.4, se tiene para la relación  $a/c = 0.45$ 
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de elasticidad fue 294183.8 kg/cm<sup>2</sup>, 293728.52 kg/cm<sup>2</sup> y 298233.25 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 105.74%, 105.58% y 107.19% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (278217.24 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de elasticidad fue 288657.97 kg/cm<sup>2</sup>, 291375.61 kg/cm<sup>2</sup> y 301627.89 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 103.75%, 104.73% y 108.41% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (278217.24 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
4. Del Cuadro 5.2.4, se tiene para la relación  $a/c = 0.50$ 
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 1 (RC 65/60 BN), el módulo de elasticidad fue 266228.96 kg/cm<sup>2</sup>, 279531.02 kg/cm<sup>2</sup> y 261284.74 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 100.94%, 105.98% y 99.06% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (263752.09 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).
  - Con 10kg/m<sup>3</sup>, 15kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación de la Fibra 2 (RC 80/60 BN), el módulo de elasticidad fue 264578.62 kg/cm<sup>2</sup>, 274037.31 kg/cm<sup>2</sup> y 271681.08 kg/cm<sup>2</sup>, los mismos que representan 100.31%, 103.9% y 103.01% respectivamente del módulo de elasticidad del concreto patrón (263752.09 kg/cm<sup>2</sup> que representa el 100%).

De los resultados obtenidos podemos decir que para las relaciones  $a/c = 0.40$ ,  $0.45$  y  $0.50$  existe una mejoría en los resultados adicionándole fibra metálica, influyendo más para una mayor dosificación y menor relación  $a/c$ .

## 5.4 Análisis de Costo

### 5.4.1 Introducción

Para los diversos diseños realizados, se presenta un análisis de costo, en el que se consideran únicamente los costos de los materiales, sin considerar gastos de transporte u otros. El objetivo de realizar este análisis de costos; es obtener un conocimiento aproximado de los efectos económicos del empleo de las 2 fibras metálicas con diferentes dosificaciones, respecto de un concreto normal.

### 5.4.2 Análisis de costo para $a/c = 0.40$

En el CAPÍTULO 3 se indica el proceso de diseño del concreto, donde se establece la cantidad de material que se usará para cada diseño.

En los cuadros 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7 se obtiene la cantidad de material necesario para la fabricación de  $1 \text{ m}^3$  de concreto, así como también se aprecia el costo del concreto para cada diseño con la fibra metálica.

Con dichos cuadros se realiza una comparación respecto al concreto patrón, y además incluiremos los datos de la variación de resistencia a la compresión a los 42 días respecto del concreto patrón.

MEZCLA		FIBRA METÁLICA (kg/m <sup>3</sup> )	COSTO %	RESISTENCIA %
a/c	DISEÑO			
0.40	Patrón	0	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	142.50	98.22
		15	163.75	100.26
		20	185.00	100.95
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	147.81	101.19
		15	171.72	100.61
		20	195.62	103.47

Con estos datos se realiza el Gráfico 5.3.1 y 5.3.2, en el cual observaremos la tendencia de la curva, como varía el costo y la resistencia del concreto respecto al concreto patrón.

**CUADRO 5.3.1: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m3	0.250	36.00	8.98
Piedra	m3	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total (Patrón)</b>				<b>S/. 280.55</b>

**CUADRO 5.3.2: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
(RC 65/60 BN – 10kg/m3) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	11.92	119.23
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m3	0.250	36.00	8.98
Piedra	m3	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 399.78</b>

**CUADRO 5.3.3: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
(RC 65/60 BN – 15kg/m3) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	11.92	178.84
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m3	0.250	36.00	8.98
Piedra	m3	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.0	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 459.39</b>



**CUADRO 5.3.4: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1**  
**(RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	11.92	238.46
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m <sup>3</sup>	0.250	36.00	8.98
Piedra	m <sup>3</sup>	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 519.00</b>

**CUADRO 5.3.5: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2**  
**(RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	13.41	134.13
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m <sup>3</sup>	0.250	36.00	8.98
Piedra	m <sup>3</sup>	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 414.68</b>

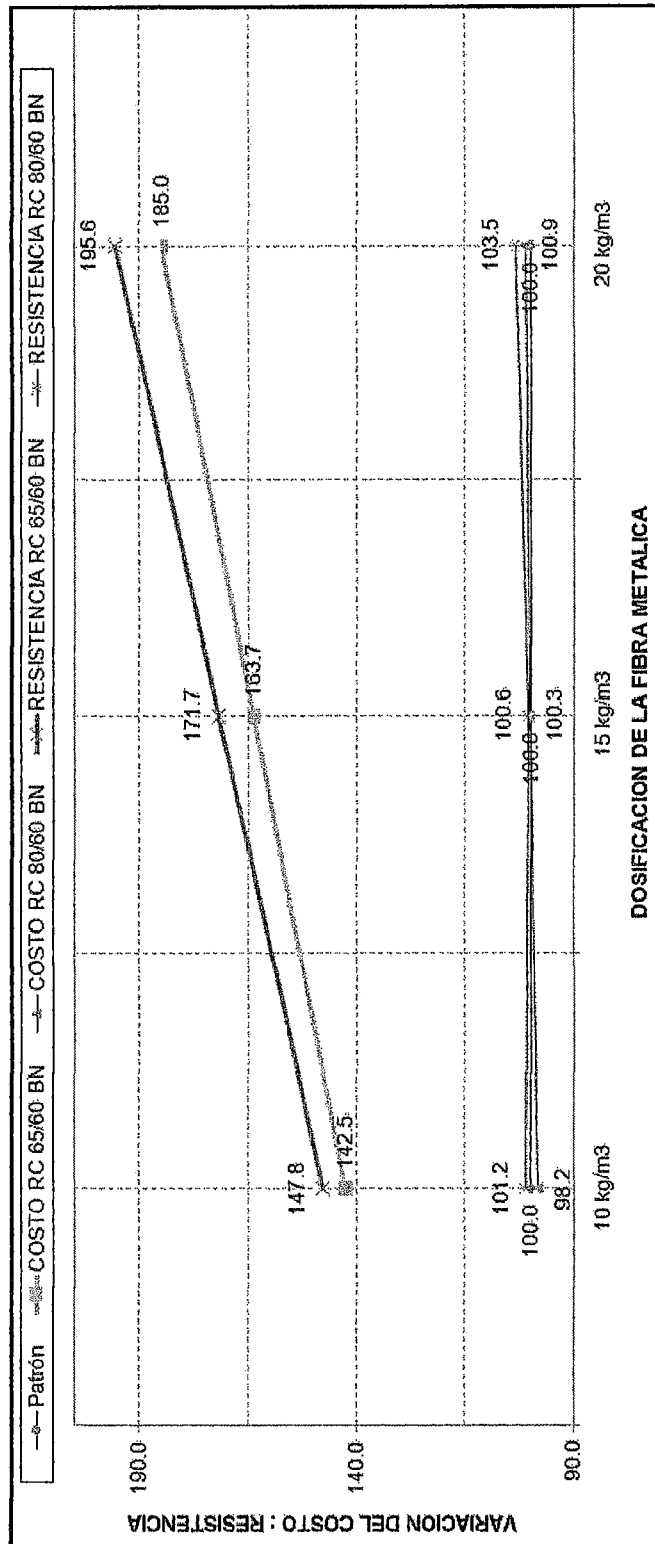
**CUADRO 5.3.6: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2**  
**(RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	13.41	201.20
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m <sup>3</sup>	0.250	36.00	8.98
Piedra	m <sup>3</sup>	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 481.75</b>

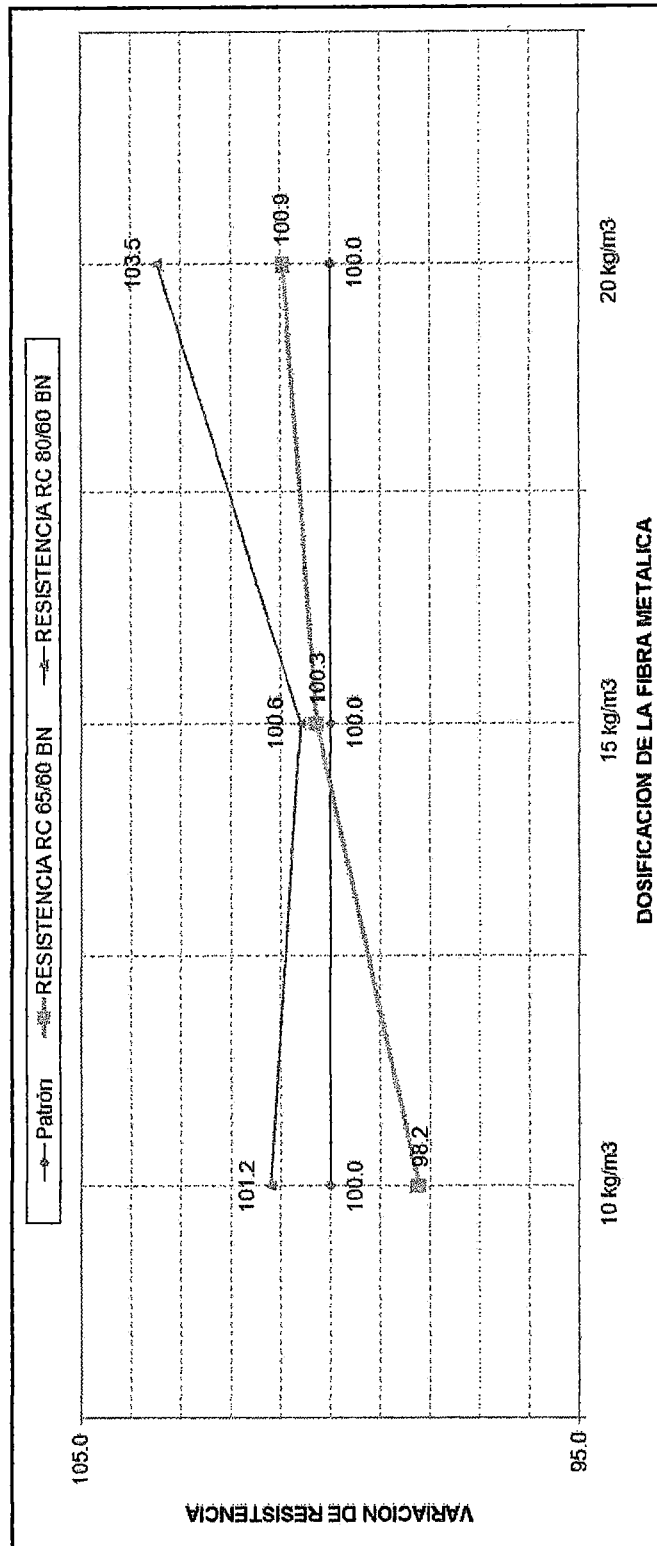
**CUADRO 5.3.7: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2**  
**(RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.40**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	13.41	268.26
Cemento tipo I "SOL"	bls	15.3	16.80	256.94
Arena	m <sup>3</sup>	0.250	36.00	8.98
Piedra	m <sup>3</sup>	0.266	50.00	13.32
Agua	litros	260.00	0.005	1.30
<b>Total</b>				<b>S/. 548.81</b>

**GRÁFICO 5.3.1: ANÁLISIS DEL COSTO RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DEL COSTO Y LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**



**GRÁFICO 5.3.2: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**



### 5.4.3 Análisis de costo para $a/c = 0.45$

En el Capítulo 3 se indica el proceso de diseño del concreto, donde se establece la cantidad de material que se usará para cada diseño.

En los cuadros 5.3.8, 5.3.9, 5.3.10, 5.3.11, 5.3.12, 5.3.13, 5.3.14 se obtiene la cantidad de material necesario para la fabricación de 1 m<sup>3</sup> de concreto, así como también se aprecia el costo del concreto para cada diseño con la fibra metálica.

Con dichos cuadros se realiza una comparación respecto al concreto patrón, y además incluiremos los datos de la variación de resistencia a la compresión a los 42 días respecto del concreto patrón.

MEZCLA		FIBRA METÁLICA	COSTO	RESISTENCIA
a/c	DISEÑO	(kg/m <sup>3</sup> )	%	%
0.45	Patrón	0	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	150.00	100.41
		15	175.01	99.69
		20	200.01	103.74
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	156.26	100.34
		15	184.38	103.77
		20	212.51	104.06

Con estos datos se realiza el Gráfico 5.3.3 y 5.3.4, en el cual observaremos la tendencia de la curva, como varía el costo y la resistencia del concreto respecto al concreto patrón.

**CUADRO 5.3.8: COSTO DEL CONCRETO PATRON –  $a/c = 0.45$**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total (Patrón)</b>				<b>S/. 238.43</b>

**CUADRO 5.3.9: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
(RC 65/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.45**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	11.92	119.23
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 357.66</b>

**CUADRO 5.3.10: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
(RC 65/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.45**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	11.92	178.84
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 417.28</b>

**CUADRO 5.3.11: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
(RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.45**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	11.92	238.46
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 476.89</b>

**CUADRO 5.3.12: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
(RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>)**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	13.41	134.13
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 372.57</b>

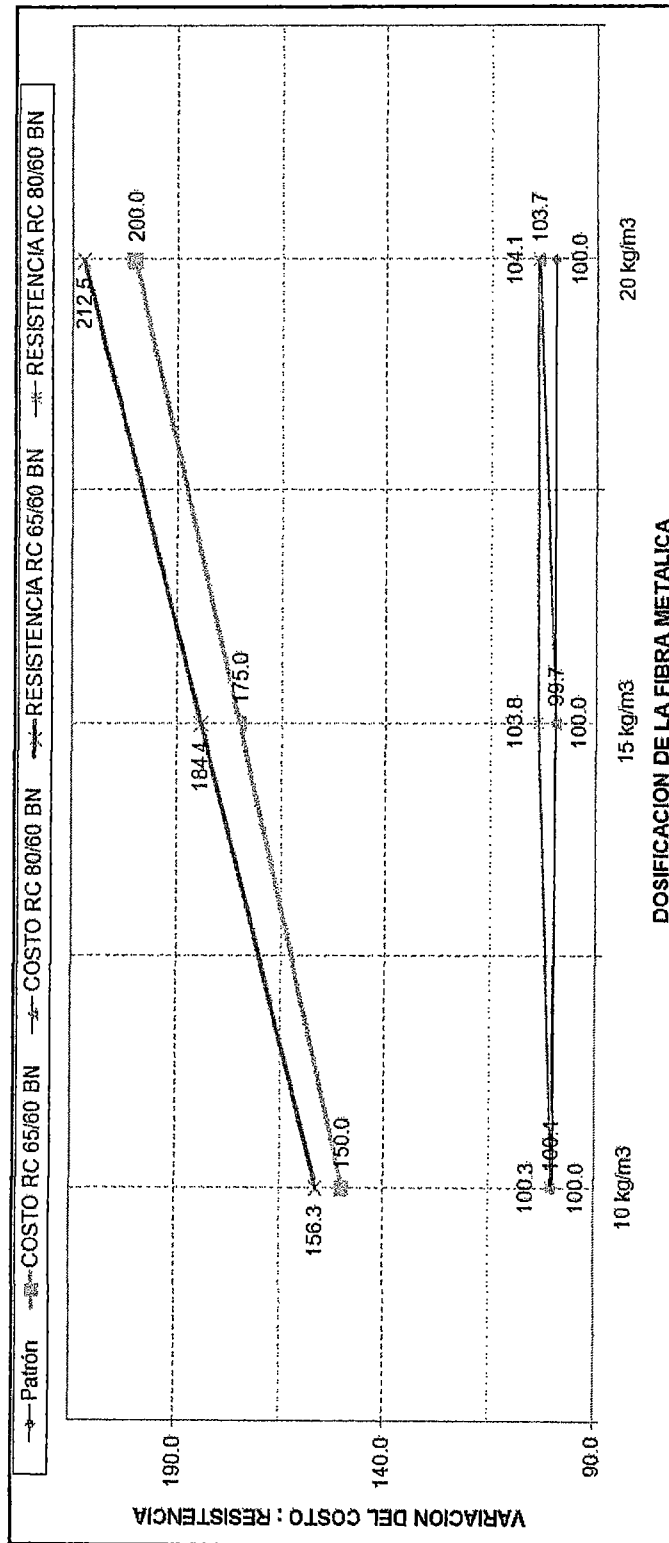
**CUADRO 5.3.13: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
 (RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.45**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	13.41	201.20
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 439.63</b>

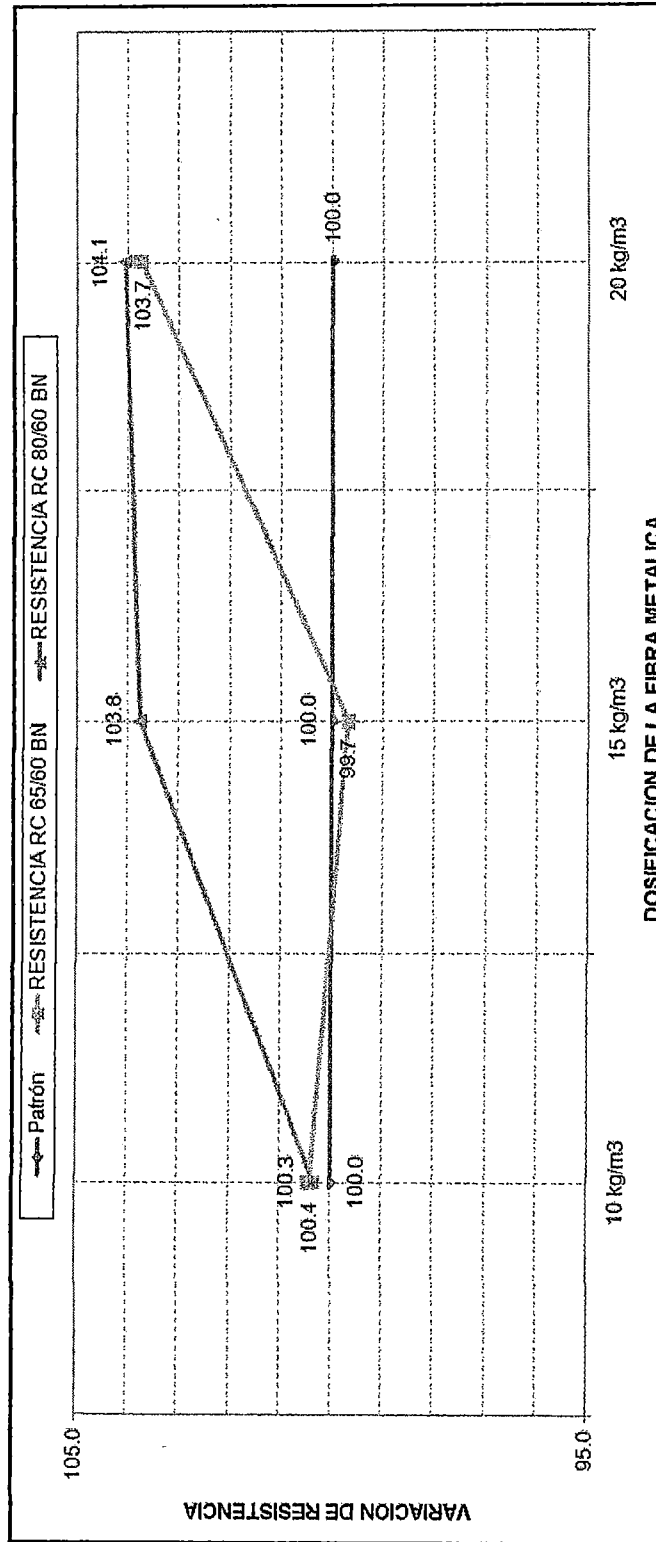
**CUADRO 5.3.14: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
 (RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.45**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	13.41	268.26
Cemento tipo I "SOL"	bls	12.7	16.80	212.58
Arena	m <sup>3</sup>	0.276	36.00	9.93
Piedra	m <sup>3</sup>	0.294	50.00	14.72
Agua	litros	242.00	0.005	1.21
<b>Total</b>				<b>S/. 506.70</b>

**GRÁFICO 5.3.3: ANÁLISIS DEL COSTO RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DEL COSTO Y LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**



**GRÁFICO 5.3.4: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**





#### 5.4.4 Análisis de costo para a/c = 0.50

En el CAPÍTULO 3 se indica el proceso de diseño del concreto, donde se establece la cantidad de material que se usará para cada diseño.

En los cuadros 5.3.15, 5.3.16, 5.3.17, 5.3.18, 5.3.19, 5.3.20, 5.3.21 se obtiene la cantidad de material necesario para la fabricación de 1 m<sup>3</sup> de concreto, así como también se aprecia el costo del concreto para cada diseño con la fibra metálica.

Con dichos cuadros se realiza una comparación respecto al concreto patrón, y además incluiremos los datos de la variación de resistencia a la compresión a los 42 días respecto del concreto patrón.

MEZCLA		FIBRA METÁLICA	COSTO	RESISTENCIA
a/c	DISEÑO	(kg/m <sup>3</sup> )	%	%
0.50	Patrón	0	100.00	100.00
	Fibra 1 RC 65/60 BN	10	157.38	99.24
		15	186.07	102.82
		20	214.76	101.53
	Fibra 2 RC 80/60 BN	10	164.55	98.92
		15	196.83	101.20
20		229.11	102.72	

Con estos datos se realiza el Gráfico 5.3.5 y 5.3.6, en el cual observaremos la tendencia de la curva, como varía el costo y la resistencia del concreto respecto al concreto patrón.

**CUADRO 5.3.15: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total (Patrón)</b>				<b>S/. 207.78</b>

**CUADRO 5.3.16: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
 (RC 65/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	11.92	119.23
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 327.01</b>

**CUADRO 5.3.17: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
 (RC 65/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	11.92	178.84
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 386.62</b>

**CUADRO 5.3.18: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 1  
 (RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	11.92	238.46
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 446.24</b>

**CUADRO 5.3.19: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
 (RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	10.00	13.41	134.13
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 341.91</b>

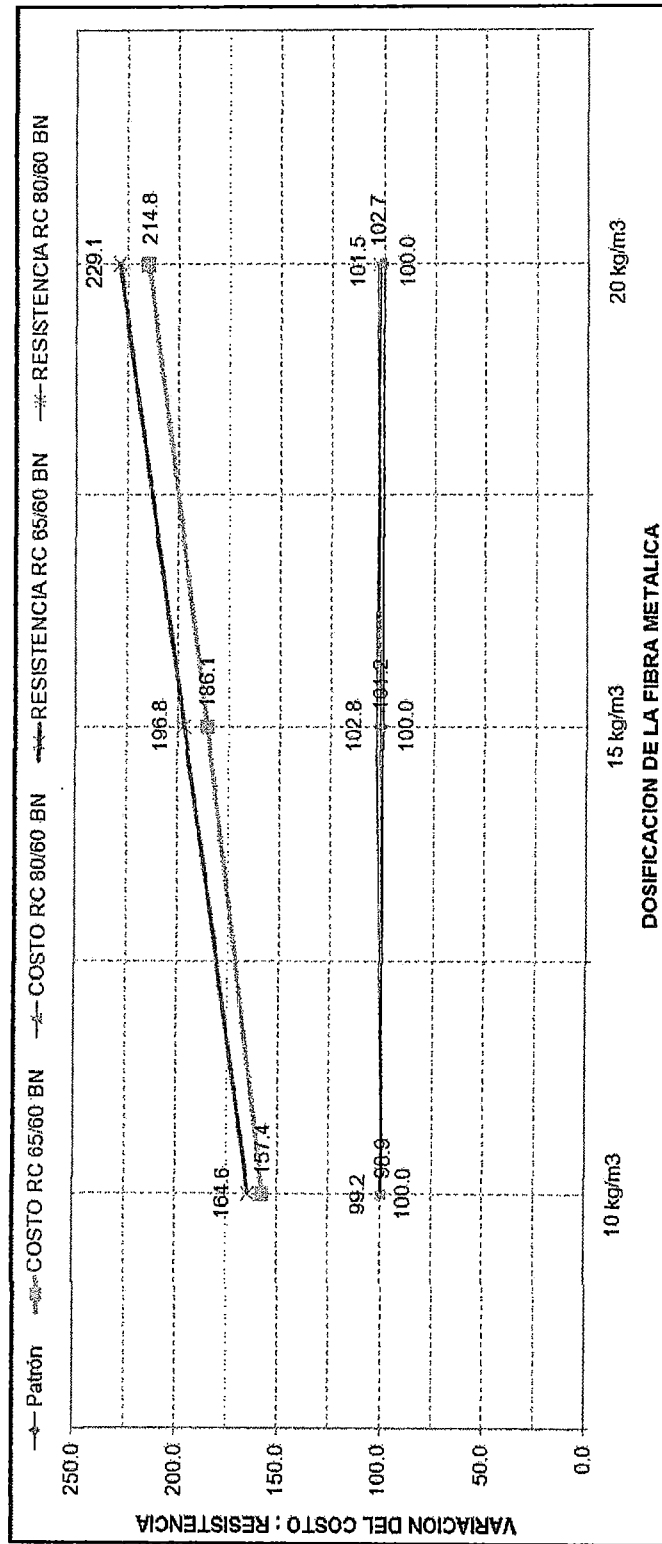
**CUADRO 5.3.20: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
 (RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	15.00	13.41	201.20
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 408.98</b>

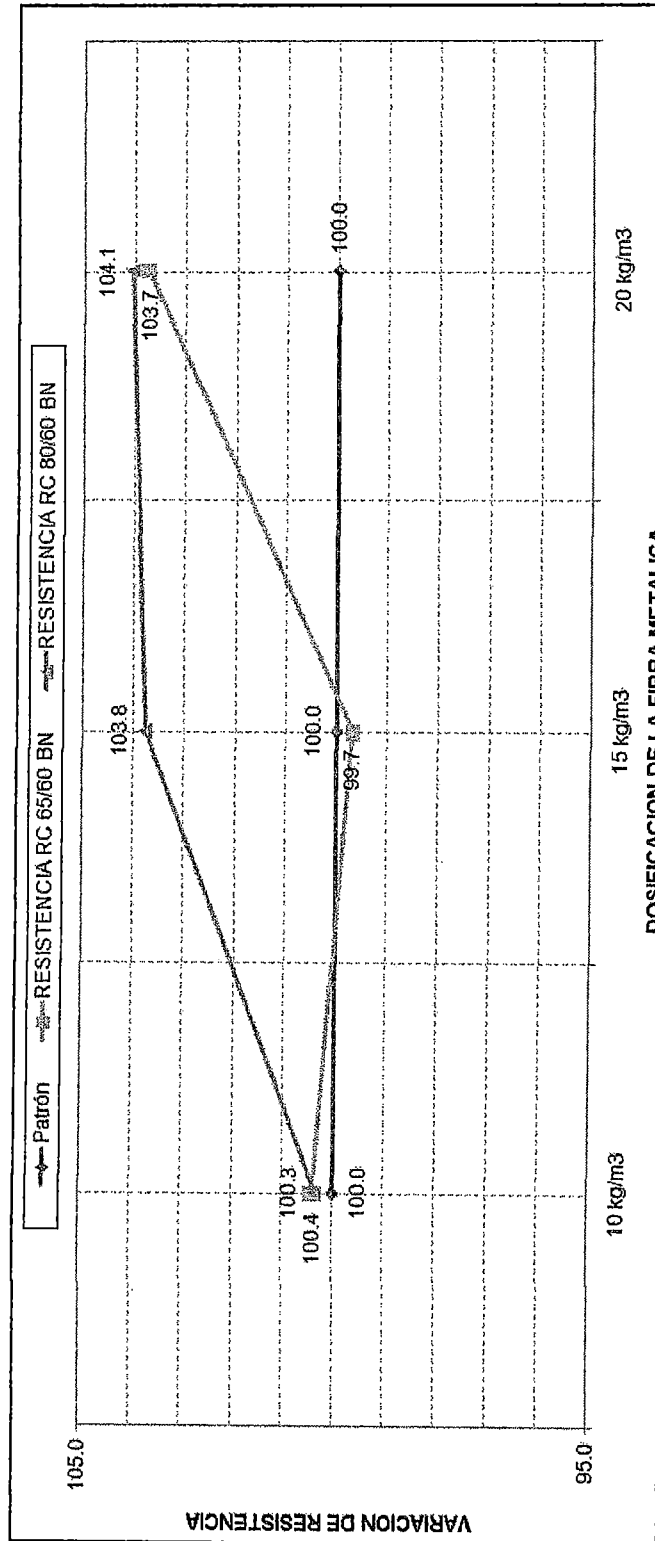
**CUADRO 5.3.21: COSTO DEL CONCRETO PATRÓN CON FIBRA 2  
 (RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>) – a/c = 0.50**

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
Fibra Metálica	kg	20.00	13.41	268.26
Cemento tipo I "SOL"	bls	10.7	16.80	180.25
Arena	m <sup>3</sup>	0.295	36.00	10.63
Piedra	m <sup>3</sup>	0.315	50.00	15.76
Agua	litros	228.00	0.005	1.14
<b>Total</b>				<b>S/. 476.04</b>

**GRÁFICO 5.3.5: ANÁLISIS DEL COSTO RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DEL COSTO Y LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**



**GRÁFICO 5.3.6: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA RESPECTO DEL CONCRETO PATRÓN  
 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA  
 (42 días)**



#### **5.4.5 Análisis de la variación COSTO - RESISTENCIA**

De los cuadros y gráficos mostrados anteriormente, se puede apreciar la influencia en el costo y la mejora de la calidad del concreto respecto a la resistencia a la compresión.

Para una relación  $a/c = 0.40$

1. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 1 (RC 65/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 142.5% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 98.22%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 163.75% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 100.26%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 185% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 100.95%.

2. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 2 (RC 80/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 147.81% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 101.19%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 171.72% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 100.61%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 195.62% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 103.47%.

Para una relación  $a/c = 0.45$

1. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 1 (RC 65/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 150% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 100.41%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 175.01% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 99.69%.

- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 200.01% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 103.74%.

2. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 2 (RC 80/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 156.26% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 100.34%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 184.38% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 103.77%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 212.51% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 104.06%.

Para una relación  $a/c = 0.50$

1. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 1 (RC 65/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 157.38% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 99.24%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 186.07% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 102.82%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 214.76% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 101.53%.

2. La influencia respecto al concreto patrón, en la Fibra 2 (RC 80/60 BN) es:

- Con 10kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 164.55% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 98.92%.
- Con 15kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 196.83% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 101.2%.
- Con 20kg/m<sup>3</sup> de dosificación, se obtuvo que el costo del concreto se incrementa a un 229.11% ya la resistencia a la compresión obtenida es del 102.72%.

## CAPÍTULO 6: FISURACIÓN

### 6.1 Generalidades

La contracción es la disminución del volumen de la materia. Esta disminución de volumen puede ser causado por:

- Deformaciones independientes de las fuerzas exteriores, las cuales pueden ser la contracción hidráulica y la contracción térmica.
- Deformaciones debidas a fuerzas exteriores, como la deformación instantánea bajo carga y la deformación progresiva bajo carga ó flujo.

La contracción hidráulica, es la reducción del volumen de la pasta de cemento ó del concreto, que está asociada con el secado, es decir con la reducción del contenido de agua. La magnitud de esta contracción depende de varios factores; como la humedad relativa ambiente, el cemento, la fineza y la granulometría de los agregados, la cantidad de agua de los agregados.

La contracción térmica se produce luego de que la materia se dilate por el vapor comprendido durante la hidratación, debido al enfriamiento de la misma.

La contracción que aparece de esta manera, solo interviene cuando la relación superficie a volumen de la obra es pequeña, en este caso no se manifiesta la contracción hidráulica.

### 6.2 Descripción del fenómeno de contracción

El concreto bien mezclado y puesto en obra, sufre desde el comienzo de la fragua una transformación que tiene el mismo efecto de una desecación.

En efecto, la hidratación y la cristalización entrañan un cambio de volumen bajo dos aspectos:

- El volumen real del cemento hidratado es superior al volumen del cemento anhidro, pero inferior a la suma de los volúmenes reales de los componentes (cemento anhidro y agua fija); de ahí resulta una disminución del agua en el interior de los poros y capilares creando una retracción del volumen debido a la disminución de los radios de los meniscos de agua entre los granos sólidos.



Esta retracción aumenta considerablemente si el concreto fresco es expuesto directamente a la evaporación ambiente y cuya actividad depende del estado higrométrico; es decir de la sequedad, como de la temperatura y de la renovación del aire por viento, ó por efecto de conservación.

La retracción existe también en atmosferas saturadas a 100%, y en ausencia de toda evaporación.

- Simultáneamente, la pasta de cemento es sometida a un efecto contrario a aquel de la retracción, es decir a un aumento del volumen aparente ó inflamamiento, que es provocado por la formación de una estructura microcristalina, necesaria después de la fragua, lo que provoca la expansión de la estructura microcristalina.

En resumen, un concreto sumergido aumenta de volumen; un concreto expuesto al aire sufre una retracción, débil bajo atmósferas saturadas y elevada bajo atmósferas secas.

Tratándose del concreto fresco, sin rigidez de estructura, la retracción no puede dar lugar si no a un flujo de adaptación ó de fisuración, sin aparición de esfuerzos internos.

Pero desde que se forma la estructura microcristalina del cemento al aire, provoca la aparición de tensiones internas.

La pasta de cemento ó el concreto estando en tracción, puede fisurarse si su resistencia mecánica no es suficiente. Es en este principio que se basan los ensayos de fisuración. Las partes libres del concreto en lugar de tenderse sufren acortamiento y una disminución de volumen, esto viene a ser la contracción propiamente dicha.

Se ve entonces que la contracción es un fenómeno de equilibrio capilar del concreto, que afecta al volumen y las dimensiones de este, según el grado de sequedad más ó menos acusado de los capilares de este concreto; está en consecuencia en relación directa con las condiciones atmosféricas ambientes.

Si las limitaciones impuestas al concreto impiden u obstruyen el libre juego de la contracción, el concreto esta puesto en tracción; esta tracción puede evolucionar

bastante lenta por que el concreto joven sufre un flujo compensador, que disminuye los esfuerzos.

La contracción adquirida no es fija, pero evoluciona según el estado hidrogramétrico ambiente; es decir si la atmósfera es muy seca, hay evaporación por la superficie, hay movimiento de agua y vapor de los capilares, el equilibrio de contracción no es alcanzado, sino más bien con un cierto desplazamiento de fases; en cambio si la atmósfera es húmeda, el vapor se condensa en los capilares, las tracciones internas debidas a los meniscos de agua entre granos sólidos disminuyen, ocasionando la disminución de la contracción.

En líneas generales, cuando la película de agua que en forma de un sistema capilar compacto envuelve a los granos de un aglomerado suelto, en virtud de la evaporación, se hace muy delgada y los granos se aproximan mucho unos a otros; dando como resultado una disminución de volumen y el conjunto se contrae.

### **6.3 La contracción en el concreto**

La contracción aumenta cuando el dosaje del cemento crece. La naturaleza de los agregados tiene un rol importante, debido a que estos se oponen tanto más a los esfuerzos de contracción ejercido por la pasta, cuanto más resistentes sean. La piedra chancada, ayuda a evitar la contracción que los cantos rodados y una fuerte proporción de elementos finos aumenta la contracción. La contracción puede ser disminuida cuando se aumenta el tamaño máximo del agregado, esto sucede por ejemplo en el concreto ciclópeo.

El mezclado debe ser suficiente para dar consistencia homogénea, un mal modo de colocar la mezcla en obra, aumenta la contracción, debido a que deja vacíos entre los agregados y permite el acercamiento bajo el efecto de los esfuerzos.

Para los trabajos en grandes masas, el calor desprendido por la hidratación del concreto puede ser importante, allí se produce por reenfriamiento una contracción térmica, mucho más elevada que la contracción hidráulica.

La contracción está relacionada a la cantidad de agua perdida por los capilares, pero no es proporcional a esta cantidad. La relación de la contracción global a la cantidad de agua evaporada aumenta con el tiempo.

No es suficiente impedir la evaporación del agua desde el inicio, obturando los capilares para impedir la contracción, es necesaria la inmersión para detener toda contracción, y el concreto continua entonces absorbiendo agua a medida que se hidrata.

La contracción no es peligrosa únicamente por su amplitud final, si no por dos características:

- Por la rapidez de su aparición; la contracción inicial es la menos peligrosa porque provoca microfisuración, reparable en apariencia por ulterior formación de calcita en las microfisuras pero en realidad es precursora de un rompimiento casi inevitable por efecto del desgarramiento.
- Por la rapidez de su evolución; una contracción que evoluciona rápidamente es más peligrosa que otra de la misma magnitud pero que se desarrolla más lentamente, pues ésta última puede ser favorable en el comienzo de la disminución de los esfuerzos por efectos del flujo y ulteriormente en la resistencia a la acción de los esfuerzos por el aumento progresivo del endurecimiento.

Mientras que la contracción rápida; aun limitada, no da tiempo ni al flujo compensador ni al desarrollo progresivo de la resistencia mecánica, ni de lograr su pleno efecto; de allí el peligro de este tipo de fisuración.

Las fisuras deben ser impedidas cuando favorecen la oxidación de las armaduras de acero, cuando es necesaria la completa impermeabilidad del concreto ó por fines arquitectónicos.

Cuando existe un fuerte viento y la humedad relativa no es elevada, la velocidad de evaporación es mayor que la exudación originando tensiones superficiales de tracción que producen la fisuración del concreto.

La fisuración plástica es muy peligrosa en losas no protegidas, principalmente cuando la evaporación es mayor a 0.50 kg/m<sup>2</sup>/h.

## 6.4 La prueba del anillo

El ensayo que realizaremos en este trabajo de investigación, está basado en el ensayo de fisuración de la pasta de cemento, según la AFNOR (Asociación Francesa de Normalización) obtenida de la tesis: "Investigación del Fenómeno de la Fisuración por Contracción impedida en pasta de cemento y en el Concreto simple".

En resumen, este ensayo conocido con el nombre de "la prueba del anillo", consiste en moldear una corona de pasta pura de aglomerante en estudio alrededor de un núcleo metálico y conservado en una atmósfera bien definida y en anotar el tiempo al cabo el cual se fisura.

En nuestro caso, hemos variado las dimensiones del núcleo metálico de manera de poder comprobar el comportamiento del concreto patrón y del concreto con las fibras metálicas con sus respectivas dosificaciones. Tendremos un diámetro interior (núcleo) de 15cm, a partir de este diámetro tenemos 2 diámetros exteriores de 23cm y 31cm, y cada corona circular que se forme, tendrá una altura variable 10cm, 15cm.

Con la prueba del anillo se puede reconocer la sensibilidad a la contracción que tiene el cemento; el tiempo de fisuración es un índice de la calidad de los cementos. El tiempo de fisuración superior a 24 horas ofrece seguridad para climas templados.

Robert L'hermite ha demostrado que los cementos con tiempos de fisuración menores de 14 horas indican peligro y los comprendidos entre 14 y 24 horas necesitan atención.

## 6.5 Ensayos y Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos de estos ensayos fueron los siguientes:

### 6.5.1 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón

En el cuadro 6.1, se aprecia los resultados de los ensayos en los anillos de fisuración de H'Lermite

**CUADRO 6.1.1**  
**TIEMPO DE FISURACIÓN DEL CONCRETO PATRÓN**

<b>TIEMPO DE FISURACIÓN</b>	<b>a/c = 0.40</b>	<b>a/c = 0.45</b>	<b>a/c = 0.50</b>
Molde 1 (dint = 0.15m) Anillo 1 (h = 0.10, dext = 0.23m)	23 h 10 '	20 h 30 '	19 h 50 '
Molde 2 (dint = 0.15m) Anillo 2 (h = 0.15, dext = 0.23m)	22 h 15 '	19 h 00 '	17 h 35 '
Molde 3 (dint = 0.15m) Anillo 3 (h = 0.10, dext = 0.31m)	19 h 00 '	17 h 40 '	15 h 20 '
Molde 4 (dint = 0.15m) Anillo 4 (h = 0.15, dext = 0.31m)	19 h 30 '	16 h 10 '	15 h 35 '

### 6.5.2 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón con fibra metálica 1 RC 65/60 BN

En el cuadro 6.1.2, se aprecia los resultados de los ensayos en los anillos de fisuración de H'Lermite, para la fibra metálica 1 RC 65/60 BN

### 6.5.3 Tiempo de fisuración - Concreto Patrón con fibra metálica 2 RC 80/60 BN

En el cuadro 6.1.3, se aprecia los resultados de los ensayos en los anillos de fisuración de H'Lermite, para la fibra metálica 1 RC 65/60 BN.

CUADRO 6.1.2 TIEMPO DE FISURACIÓN - CONCRETO PATRÓN CON FIBRA METÁLICA 1 RC 65/60 BN

TIEMPO DE FISURACIÓN	a/c = 0.40			a/c = 0.45			a/c = 0.50		
	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
Molde 1 (dint = 0.15m) Anillo 1 (h = 0.10, dext = 0.23m)	34 h 20 '	39 h 50 '	No aparece	28 h 45 '	No aparece	No aparece	26 h 20 '	26 h 30 '	No aparece
Molde 2 (dint = 0.15m) Anillo 2 (h = 0.15, dext = 0.23m)	32 h 15 '	No aparece	No aparece	25 h 00 '	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece
Molde 3 (dint = 0.15m) Anillo 3 (h = 0.10, dext = 0.31m)	31 h 00 '	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	24 h 00 '	No aparece	No aparece
Molde 4 (dint = 0.15m) Anillo 4 (h = 0.15, dext = 0.31m)	31 h 20 '	31 h 55 '	No aparece	29 h 15 '	No aparece	No aparece	21 h 30 '	No aparece	No aparece

**CUADRO 6.1.3 TIEMPO DE FISURACIÓN - CONCRETO PATRÓN CON FIBRA METÁLICA 2 RC 80/60 BN**

TIEMPO DE FISURACIÓN	a/c = 0.40			a/c = 0.45			a/c = 0.50		
	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	10 kg/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>
	Molde 1 (dint = 0.15m) Anillo 1 (h = 0.10, dext = 0.23m)	34 h 15'	No aparece	No aparece	30 h 10'	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece
Molde 2 (dint = 0.15m) Anillo 2 (h = 0.15, dext = 0.23m)	No aparece	No aparece	No aparece	29 h 00'	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece
Molde 3 (dint = 0.15m) Anillo 3 (h = 0.10, dext = 0.31m)	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	No aparece	22 h 40'	No aparece	No aparece
Molde 4 (dint = 0.15m) Anillo 4 (h = 0.15, dext = 0.31m)	No aparece	No aparece	No aparece	31 h 20'	No aparece	No aparece	19 h 15'	No aparece	No aparece

## CONCLUSIONES

Las conclusiones que se tienen en esta investigación, se basan según los objetivos del plan de tesis, los cuales fueron comparar los resultados de los ensayos del concreto en estado fresco y endurecido. Estos ensayos son para las relaciones  $a/c = 0.40, 0.45, 0.50$  y agregándole a cada relación  $a/c$  2 tipos de fibras metálicas en dosificaciones de  $10\text{kg/m}^3, 15\text{ kg/m}^3$  y  $20\text{ kg/m}^3$ . Una fibra metálica es RC 65/60 BN que tiene una longitud de 60mm y diámetro de 0.90mm, la otra fibra metálica es RC 80/60 BN de longitud 60 mm y diámetro de 0.75mm.

1. El asentamiento y el porcentaje de fluidez del concreto, conforme aumenta la relación  $a/c$  aumenta el asentamiento y el índice de fluidez, sin embargo a mayor incremento de la dosificación de fibras metálicas en el concreto en las diferentes relaciones  $a/c$  va disminuyendo el asentamiento y el porcentaje de fluidez.
2. El peso unitario del concreto fresco con la fibra metálica tipo 2 RC 80/60 BN es mayor que el peso unitario del concreto fresco con la fibra metálica tipo 1 RC 65/60 BN, además de que a mayor dosificación de fibra metálica en el concreto existe un ligero incremento del 0.5% en el peso unitario del concreto fresco, esto se verifica para todas las relaciones  $a/c$ .
3. La exudación del concreto disminuye conforme aumenta la dosificación de fibras metálicas, el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN tiene menor porcentaje de exudación que el concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, se verifica para todas las relaciones  $a/c$ .
4. El tiempo de fraguado inicial del concreto con fibras metálicas disminuye aprox. 7% del tiempo de fraguado inicial del concreto patrón, se tiene que con el concreto con la fibra metálica 2 RC 80/60 BN el tiempo de fraguado inicial es menor que el tiempo de fraguado inicial del concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, esto se observa para todas las relaciones  $a/c$ .
5. El tiempo de fraguado final del concreto con fibras metálicas disminuye aprox. 4% del tiempo de fraguado final del concreto patrón, siendo menores los tiempos de fraguado final en el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN que los tiempos de fraguado final del concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, esto se observa para las diversas relaciones de  $a/c$ .



6. La resistencia a la compresión del concreto obtenidos a los 07, 14, 28 y 42 días, con la adición de la fibra metálica 2 RC 80/60 BN aumenta aprox. 2% de la resistencia a la compresión del concreto patrón. A su vez que con el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN se obtienen mayores resistencias a la compresión que el concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, por lo tanto a mayor dosificación de fibra metálica en el concreto aumenta la resistencia a la compresión, además que ésta resistencia a la compresión disminuye conforme aumenta la relación a/c.
7. La resistencia a la tracción por compresión diametral se incrementa cuando se tiene mayor dosificación de fibras metálicas en el concreto, siendo el concreto con fibra metálica 2 80/60 BN la que tiene mayor resistencia a la tracción por compresión diametral que el concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN. La resistencia a la tracción por compresión diametral disminuye a medida que aumenta la relación a/c.
8. La resistencia a la flexión aumenta a mayor dosificación de la fibra metálica en el concreto, siendo el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN la que tiene mayor resistencia a la flexión que el concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, la resistencia a la flexión disminuye a medida que aumenta la relación a/c.
9. El módulo de elasticidad estático aumenta a medida que la dosificación de la fibra metálica en el concreto también aumenta, siendo el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN la que tiene mayor modulo de elasticidad que el concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN, el modulo de elasticidad disminuye conforme aumenta la relación a/c.
10. Los anillos de concreto con fibras metálicas tienen mayor rendimiento que los anillos de concreto patrón, los anillos de concreto con fibra metálica 1 RC 65/60 BN y fibra metálica 2 RC 80/60 BN presentan fisuras en las dosificaciones de 10 kg/m<sup>3</sup> para todas las relaciones a/c. El tiempo de aparición de fisuras en los anillos de concreto patrón es antes de las 24 horas; a diferencia de los anillos de concreto con fibra metálica, donde el tiempo de aparición de las fisuras es superior a las 24 horas, por lo que se concluye que se debe utilizar el concreto con fibras metálicas del tipo 2 RC 80/60 BN en dosificaciones 15 kg/m<sup>3</sup> y 20kg/m<sup>3</sup>.
11. El costo del concreto con fibras metálicas aumenta a medida que se incrementa la dosificación de las fibras metálicas, pero el costo del concreto

disminuye a menor relación de a/c. Además; de acuerdo al tiempo de aparición de las fisuras en los anillos de concreto se tiene que el costo por m<sup>3</sup> para el concreto de relación a/c = 0.40 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN es S/. 481.75 y el costo por m<sup>3</sup> de concreto con dosificación de 20 kg/m<sup>3</sup> de la misma fibra metálica es de S/. 548.81, de estos 2 concretos con fibras metálicas, escojo el concreto con fibra metálica 2 RC 80/60 BN con dosificación de 15 kg/m<sup>3</sup>.

## RECOMENDACIONES

1. Si queremos obtener buenos resultados en un concreto, se debe tener en cuenta la calidad de los materiales que vamos a utilizar, y para esto se detallan las siguientes consideraciones:
  - El cemento debe ser fresco y no debe presentar grumos, debido a que con un cemento en estas condiciones, obtendremos malos resultados.
  - El agregado fino debe ser arena gruesa.
  - Es preferible el agregado grueso debe tener forma angulosa, y no redondeada, debido a que las formas angulosas se comporta mejor en la mezcla del concreto, que la forma redondeada, ya que esta forma se desprende de la probeta al ser ensayada.
2. La fibra metálica debe estar en buenas condiciones, y no deben presentar oxidación.
3. Cuando se fabrique el concreto, mezclar primero los agregados, cemento y agua, cuando ya esté mezclado recién añadir la fibra metálica, y como las fibras vienen agrupadas (encoladas en forma de peine); no despegarlas ya que el mismo movimiento del trompo mezclador y la mezcla de concreto, hacen que se separen y al final del mezclado resulta una mezcla homogénea.
4. Se recomienda utilizar la fibra metálica RC 80/60 BN, con una dosificación de 15 kg/m<sup>3</sup> y 20 kg/m<sup>3</sup>, porque al pasar las 24 horas, el concreto permanece sin fisuras las muestras ensayadas, a diferencia de las muestras de concreto con dosificaciones de 10kg/m<sup>3</sup> que si aparecieron las fisuras.
5. Cuando se realicen los ensayos del concreto en estado endurecido, utilizar guantes de cuero para el retiro de las probetas, ya que después de ser ensayadas dichas probetas con fibras metálicas, las fibras quedan expuestas, pudiendo generar rasguños y cortes profundos en las personas.

6. Según la ficha técnica de la fibra metálica Dramix, indica que se puede considerar como inclusión de fibras metálicas en el concreto, hasta una dosificación máxima de fibra metálica RC 65/60 BN y fibra metálica RC 80/60 BN de 60 kg/m<sup>3</sup>, nuestra investigación está basada en dosificaciones pequeñas de 10 kg/m<sup>3</sup>, 15 kg/m<sup>3</sup> y 20 kg/m<sup>3</sup> para los 2 tipos de fibras metálicas Dramix, por lo tanto se recomienda seguir con la investigación en dosificaciones intermedias, superiores a los 20kg/m<sup>3</sup>, con diferentes diseños de mezcla variando la relación a/c.
7. Se recomienda realizar los ensayos de fatiga e impacto, así como también el ensayo a la tenacidad, en los concretos con diferentes relaciones a/c, con variación de las dosificaciones de fibras metálicas para futuras investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Colegio de ingenieros del Perú  
"Tópicos de la Tecnología del Concreto en el Perú"  
Personal  
Lima – Perú 1993
2. Cachay Huamán, Rafael  
Tesis: "Diseño de mezclas, método del agregado global y módulo de finura para concretos de mediana a alta resistencia".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú
3. Cementos Lima S.A.  
Productos: Cemento Portland Tipo I (Cemento Sol)  
[www.cementoslima.com.pe](http://www.cementoslima.com.pe)  
Lima – Perú 2007
4. Cuaresma Carbajal, Julio  
Tesis: "Estudio de las propiedades del concreto, utilizando fibras de refuerzo de acero".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú. 2001
5. Harman Infantes, Juan  
"Tecnología del concreto: diseño de mezclas de agregado, diseño de mezcla de concreto".  
Personal  
Editorial
6. Herrera Talavera, Jaime / Lanao Alosilla, Edmundo  
Tesis: "Curado, resistencia y rendimiento como factores de diseño de losas de concreto".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú. 1968

7. Mindreau Delgado, Jean Paúl  
Tesis: "Estudio comparativo en el ensayo de compresión entre el uso de recubrimiento de azufre y almohadillas de compresión, en concretos de mediana a alta resistencia".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú. 2005
  
8. Instituto Mexicano del Cemento  
"Construcción de losas y pisos de concreto".  
Personal  
Editorial Limusa S.A. Balderas México - 1995
  
9. Patricia Soto Barra, Elizabeth  
Tesis: "Curado del concreto".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú. 1998
  
10. Ing. Riva López, Enrique  
"Diseño de mezclas".  
Personal  
Lima – Perú 1992
  
11. Ing. Riva López, Enrique  
"Naturaleza y materiales del concreto".  
ACI CAPÍTULO Peruano. Lima – Perú  
Lima – Perú 2000
  
12. Soldevilla Ubeda, Jhony  
Tesis: "Efectos de la fibra metálica en el concreto elaborado con cemento portland".  
Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú  
Lima – Perú. 2002

13. Torres Castro, Guillermo

Tesis: "Determinación de las propiedades del concreto por la acción del aditivo superplastificante y reductor de agua con cemento Portland tipo IP".

Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú

Lima – Perú. 1994

14. Villa Justo, Edgar

Tesis: "Características del concreto endurecido por efecto de un aditivo curador de aplicación externa, utilizando cemento portland tipo I".

Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú

Lima – Perú. 1999

15. Cerrón Poma, Roberto T.

Tesis: "Estudio de los efectos producidos en las propiedades del concreto fresco y endurecido, por la adición de un aditivo superplastificante, utilizando cemento portland tipo I".

Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú

Lima – Perú. 1999

16. Ari Queque, Ismael

Tesis: "Estudio de las propiedades del concreto fresco y endurecido, de mediana a alta resistencia con aditivo superplastificante y retardador de fraguado, con cemento portland tipo I".

Facultad de ingeniería Civil. UNI. Lima – Perú

Lima – Perú. 2002

**Normas:**

- ASTM "A820-90 "
  
- Guide for Specifying, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete 544.3R-84  
American Concrete Institute

# **ANEXOS**

**ANEXO A: Resultados de las propiedades físicas de los Agregados**

**ANEXO B: Diseño de Mezclas de concreto**

**ANEXO C: Resultados Propiedades del Concreto en estado Fresco**

**ANEXO D: Resultados Propiedades del Concreto en estado endurecido**

**ANEXO E: Memoria Fotográfica**





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES

MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA


### CONSTANCIA

LA JEFA DEL LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, deja constancia que :

El Bach. **FERNANDO SANCHEZ ALVARADO**, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería, ha realizado sus ensayos de Propiedades Físicas del Agregado y Concreto en el Laboratorio N°1, para la realización de su Tesis: “Estudio de las Características del Concreto con Inclusión de Fibras Metálicas y Cemento Pórtland Tipo I”, desde 01 Marzo de 2009 a 31 Agosto de 2009.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

Lima, 30 de Setiembre de 2009

  
Ing. **SABEL MOROMI NAKATA**  
Jefe (e)

## AGREGADO FINO

### 1. Análisis granulométrico

Muestra N° 1

Módulo de Finura = 2.986

Procedencia : Cantera "La Molina"

Peso de la muestra = 500g

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
N°4	27.50	5.50	5.50	94.50%	95.00	100.00
N°8	73.50	14.70	20.20	79.80%	80.00	100.00
N°16	109.50	21.90	42.10	57.90%	50.00	85.00
N°30	96.00	19.20	61.30	38.70%	25.00	60.00
N°50	91.50	18.30	79.60	20.40%	10.00	30.00
N°100	51.50	10.30	89.90	10.10%	2.00	10.00
FONDO	50.50	10.10	100.00	0.00%		

Muestra N° 2

Módulo de Finura = 3.307

Procedencia : Cantera "La Molina"

Peso de la muestra = 500g

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
N°4	34.00	6.80	6.80	93.20%	95.00	100.00
N°8	92.00	18.40	25.20	74.80%	80.00	100.00
N°16	120.50	24.10	49.30	50.70%	50.00	85.00
N°30	94.50	18.90	68.20	31.80%	25.00	60.00
N°50	87.00	17.40	85.60	14.40%	10.00	30.00
N°100	50.00	10.00	95.60	4.40%	2.00	10.00
FONDO	22.00	4.40	100.00	0.00%		

Muestra N° 3

Módulo de Finura = 3.243

Procedencia : Cantera "La Molina"

Peso de la muestra = 500g

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa	Especificaciones	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
N°4	36.00	7.20	7.20	92.80%	95.00	100.00
N°8	87.00	17.40	24.60	75.40%	80.00	100.00
N°16	112.50	22.50	47.10	52.90%	50.00	85.00
N°30	95.00	19.00	66.10	33.90%	25.00	60.00
N°50	91.50	18.30	84.40	15.60%	10.00	30.00
N°100	52.50	10.50	94.90	5.10%	2.00	10.00
FONDO	25.50	5.10	100.00	0.00%		

## 2. Módulo de finura

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido}_{\text{acumulado}}}{100}$$

Muestra	Módulo de Finura
M-1	2.986
M-2	3.307
M-3	3.243

## 3. Superficie específica

Procedencia: Cantera "La Molina"      Peso de la muestra = 500g

Malla	% Retenido			% Retenido Promedio (1)	Diámetro promedio (2)	(1) / (2)
	M - 1	M - 2	M - 3			
N°4	5.50	6.80	7.20	6.50	0.714	9.104
N°8	14.70	18.40	17.40	16.83	0.357	47.152
N°16	21.90	24.10	22.50	22.83	0.179	127.561
N°30	19.20	18.90	19.00	19.03	0.089	213.858
N°50	18.30	17.40	18.30	18.00	0.044	409.091
N°100	10.30	10.00	10.50	10.27	0.022	466.667
FONDO	10.10	4.40	5.10	6.53	0.011	593.939

$$\Sigma = 1867.37$$

**Superficie específica Promedio = 43.51 cm<sup>2</sup>/g**

## 4. Peso específico y porcentaje de absorción

Muestra N° 1      Peso 500  
Procedencia: Cantera "La Molina"      Fecha: 11/03/2009

Descripción	Símb	Cantidad	Und
Peso de la fiola		163.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola		663.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola + Peso del Agua		974.0	g
Peso del Agua	W	310.5	g
Peso de la Arena Seca	A	491.5	g
Volumen de la Fiola	V	500.0	ml

$$1. \text{ Peso específico de masa (G)} = \frac{A}{V - W} = \frac{491.5}{500.00 - 310.50} = 2.59$$

2.	Peso específico de masa saturada superficialmente seco (G <sub>ss</sub> )	=	$\frac{500}{V - W}$	=	$\frac{500.0}{500.00 - 310.50}$	=	2.64
3.	Peso específico aparente (G <sub>a</sub> )	=	$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$	=	$\frac{491.5}{189.50 - 8.50}$	=	2.72
4.	Porcentaje de absorción (a%)	=	$100 \times \frac{500 - A}{A}$	=	$100.00 \times \frac{8.50}{491.50}$	=	1.73%

Muestra N°	2	Peso	500
Procedencia:	Cantera "La Molina"	Fecha:	11/03/2009
Descripción	Símb	Cantidad	Und
Peso de la fiola		163.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola		663.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola + Peso del Agua		973.5	g
Peso del Agua	W	310.0	g
Peso de la Arena Seca	A	491.0	g
Volumen de la Fiola	V	500.0	ml

1.	Peso específico de masa (G)	=	$\frac{A}{V - W}$	=	$\frac{491.0}{500.0 - 310.0}$	=	2.58
2.	Peso específico de masa saturada superficialmente seco (G <sub>ss</sub> )	=	$\frac{500}{V - W}$	=	$\frac{500.0}{500.0 - 310.0}$	=	2.63
3.	Peso específico aparente (G <sub>a</sub> )	=	$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$	=	$\frac{491.0}{190.0 - 9.0}$	=	2.71
4.	Porcentaje de absorción (a%)	=	$100 \times \frac{500 - A}{A}$	=	$100.0 \times \frac{9.0}{491.0}$	=	1.83%

Muestra N°	3	Peso	500
Procedencia:	Cantera "La Molina"	Fecha:	11/03/2009
Descripción	Símb	Cantidad	Und
Peso de la fiola		163.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola		663.5	g
Peso de Arena Superficialmente Seca + Peso de la Fiola + Peso del Agua		971.5	g

Peso del Agua	W	308.0	g
Peso de la Arena Seca	A	489.0	g
Volumen de la Fiola	V	500.0	ml

1. Peso específico de masa (G)	$= \frac{A}{V - W} = \frac{489.0}{500.0 - 308.0} = 2.55$
2. Peso específico saturada superficialmente seco (Gsss)	$= \frac{500}{V - W} = \frac{500.0}{500.0 - 308.0} = 2.60$
3. Peso específico aparente (Ga)	$= \frac{A}{(V - W) - (500 - A)} = \frac{489.0}{192.0 - 11.0} = 2.70$
4. Porcentaje de absorción (a%)	$= 100 \times \frac{500 - A}{A} = 100.0 \times \frac{11.0}{489.0} = 2.25\%$

### 5. Contenido de humedad

Muestra N° 1

Procedencia : Cantera "La Molina" Fecha: 11/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	500.00	g
Peso de la muestra seca	493.50	g
Contenido de Agua	6.50	g
Contenido de Humedad	1.32%	g

Muestra N° 2

Procedencia : Cantera "La Molina" Fecha: 11/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	500.00	g
Peso de la muestra seca	488.50	g
Contenido de Agua	11.50	g
Contenido de Humedad	2.35%	g

Muestra N° 3

Procedencia : Cantera "La Molina" Fecha: 11/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	500.00	g
Peso de la muestra seca	488.50	g
Contenido de Agua	11.50	g
Contenido de Humedad	2.35%	g

## 6. Peso unitario

### Suelto

Descripción	simb	M - 1	M - 2	M - 3	und
Peso de la muestra suelta + recipiente		7350.00	6950.00	6620.50	g
peso del recipiente		2800.00	2800.00	2800.00	g
Peso de la muestra suelta	Ws	4550.00	4150.00	3820.50	g
Volumen del recipiente de $1/10\pi e^3 = 0.0028317m^3$	f	28317 E-07	28317 E-07	28317 E-07	m <sup>3</sup>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>PUS</b>	<b>1606.82</b>	<b>1465.56</b>	<b>1349.20</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

### Compactado

Descripción	simb	M - 1	M - 2	M - 3	und
Peso de la muestra suelta + recipiente		7750.00	7700.00	7700.00	g
peso del recipiente		2800.00	2800.00	2800.00	g
Peso de la muestra suelta	Wc	4950.00	4900.00	4900.00	g
Volumen del recipiente de $1/10\pi e^3 = 0.0028317m^3$	f	28317 E-07	28317 E-07	28317 E-07	m <sup>3</sup>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	<b>PUC</b>	<b>1748.08</b>	<b>1730.42</b>	<b>1730.42</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

## 7. Material que pasa la malla N°200

Descripción	símbolo	M - 1	M - 2	M - 3	und
Peso de la muestra seca	P1	500.00	500.00	500.00	g
Peso de muestra Lavada y Secada + recipiente	(1)	645.50	637.00	589.00	g
Peso de recipiente	(2)	179.00	169.00	117.50	g
Peso de la muestra Lavada y Secada	(1) - (2)	466.50	468.00	471.50	g
Material que pasa la Malla N°200	(P1-P2)	33.50	32.00	28.50	g
<b>% QUE PASA LA MALLA N° 100</b>	<b>A</b>	<b>6.70</b>	<b>6.40</b>	<b>5.70</b>	<b>%</b>

**AGREGADO GRUESO****1. Análisis granulométrico**

Muestra N° 1 Módulo de Fineza = 7.709  
 Procedencia : Cantera "Independencia" Peso de la muestra = 5000

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa Acumulado	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00%	90.00	100.00
3/4"	3557.00	71.14	71.14	28.86%	40.00	90.00
1/2"	1405.00	28.10	99.24	0.76%		
3/8"	28.00	0.56	99.80	0.20%	0.00	15.00
N° 4	6.00	0.12	99.92	0.08%	0.00	5.00
FONDO	4.00	0.08	100.00	0.00%		

Muestra N° 2 Módulo de Fineza = 7.720  
 Procedencia : Cantera "Independencia" Peso de la muestra = 5000

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa Acumulado	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00%	90.00	100.00
3/4"	3605.50	72.11	72.11	27.89%	40.00	90.00
1/2"	1376.00	27.52	99.63	0.37%		
3/8"	12.05	0.24	99.87	0.13%	0.00	15.00
N° 4	6.45	0.13	100.00	0.00%	0.00	5.00
FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00%		

Muestra N° 3 Módulo de Fineza = 7.683  
 Procedencia : Cantera "Independencia" Peso de la muestra = 5000

Malla	P. Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa Acumulado	Especificaciones	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00%	100.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00%	90.00	100.00
3/4"	3423.50	68.47	68.47	31.53%	40.00	90.00
1/2"	1556.50	31.13	99.60	0.40%		
3/8"	12.00	0.24	99.84	0.16%	0.00	15.00
N° 4	7.50	0.15	99.99	0.01%	0.00	5.00
FONDO	0.50	0.01	100.00	0.00%		

## 2. Módulo de finura

$$\text{Módulo de Finura} = M.F. = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Muestra	Módulo de Finura
M-1	7.709
M-2	7.720
M-3	7.683

## 3. Superficie específica

Procedencia: Cantera "Independencia"

Malla	% Retenido			% Retenido Promedio (1)	Diámetro promedio (2)	(1) / (2)
	M - 1	M - 2	M - 3			
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	3.180	0.000
3/4"	71.14	72.11	68.47	70.57	2.220	31.790
1/2"	28.10	27.52	31.13	28.92	1.590	18.187
3/8"	0.56	0.24	0.24	0.35	1.110	0.313
Nº4	0.12	0.13	0.15	0.13	0.710	0.187
FONDO	0.08	0.00	0.01	0.03	0.360	0.083

$\Sigma = 50.56$

**Superficie específica Promedio = 1.12 cm<sup>2</sup>/g**

## 4. Peso específico y porcentaje de absorción

Muestra Nº 1

Peso de la muestra: 3000

Procedencia : Cantera "Independencia"

Fecha: 19/03/2009

Descripción	Símb	Cantidad	Unidad
Peso de la muestra secada al horno	A	2970.50	g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3000.00	g
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		3794.50	g
Peso de la canastilla		1890.00	g
Peso de la muestra saturada en agua	C	1904.50	g



1.	Peso específico de masa (G)	$= \frac{A}{B - C} = \frac{2970.50}{3000.0 - 1904.5} = 2.71$
2.	Peso específico de masa saturada superficialmente seco (G <sub>sss</sub> )	$= \frac{B}{B - C} = \frac{3000.00}{3000.0 - 1904.5} = 2.74$
3.	Peso específico aparente (G <sub>a</sub> )	$= \frac{A}{A - C} = \frac{2970.50}{2970.5 - 1904.5} = 2.79$
4.	Porcentaje de absorción (a%)	$= 100 \times \frac{B - A}{A} = 100.00 \times \frac{29.5}{2970.5} = 0.99\%$

Muestra N° 2 Peso de la muestra: 3000  
 Procedencia : Cantera "Independencia" Fecha: 19/03/2009

Descripción	Símb	Cantidad	Unidad
Peso de la muestra secada al horno	A	2979.50	g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3000.00	g
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		3800.50	g
Peso de la canastilla		1890.00	g
Peso de la muestra saturada en agua	C	1910.50	g

1.	Peso específico de masa (G)	$= \frac{A}{B - C} = \frac{2979.50}{3000.0 - 1910.5} = 2.73$
2.	Peso específico de masa saturada superficialmente seco (G <sub>sss</sub> )	$= \frac{B}{B - C} = \frac{3000.00}{3000.0 - 1910.5} = 2.75$
3.	Peso específico aparente (G <sub>a</sub> )	$= \frac{A}{A - C} = \frac{2979.50}{2979.5 - 1910.5} = 2.79$
4.	Porcentaje de absorción (a%)	$= 100 \times \frac{B - A}{A} = 100.00 \times \frac{20.5}{2979.5} = 0.69\%$

Muestra N° 3 Peso de la muestra: 3000  
 Procedencia : Cantera "Independencia" Fecha: 19/03/2009

Descripción	Símb	Cantidad	Unidad
Peso de la muestra secada al horno	A	2970.00	g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	B	3000.00	g
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla		3795.50	g
Peso de la canastilla		1890.00	g

Peso de la muestra saturada en agua	C	1905.50	g
-------------------------------------	---	---------	---

1.	Peso específico de masa (G)	$= \frac{A}{B - C} = \frac{2970.00}{3000.0 - 1905.5} = 2.71$
2.	Peso específico de masa saturada superficialmente seco (G <sub>ss</sub> )	$= \frac{B}{B - C} = \frac{3000.00}{3000.0 - 1905.5} = 2.74$
3.	Peso específico aparente (G <sub>a</sub> )	$= \frac{A}{A - C} = \frac{2970.00}{2970.0 - 1905.5} = 2.79$
4.	Porcentaje de absorción (a%)	$= 100 \times \frac{B - A}{A} = 100.00 \times \frac{30.0}{2970.0} = 1.01\%$

### 5. Contenido de humedad

Muestra N° 1

Procedencia : Cantera "Independencia" Fecha: 18/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	1000.00	g
Peso de la muestra seca	997.00	g
Contenido de Agua	3.00	g
Contenido de Humedad	0.30%	g

Muestra N° 2

Procedencia : Cantera "Independencia" Fecha: 18/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	1000.00	g
Peso de la muestra seca	998.00	g
Contenido de Agua	2.00	g
Contenido de Humedad	0.20%	g

Muestra N° 3

Procedencia : Cantera "Independencia" Fecha: 18/03/2009

Descripción	cantidad	Und
Peso de la muestra húmeda	1000.00	g
Peso de la muestra seca	998.00	g
Contenido de Agua	2.00	g
Contenido de Humedad	0.20%	g

## 6. Peso unitario

### Suelto

Descripción	simb	M - 1	M - 2	M - 3	und
Peso de la muestra suelta + recipiente		31300.00	30900.00	31000.00	g
peso del recipiente		11650.00	11650.00	11650.00	g
Peso de la muestra suelta	Ws	19650.00	19250.00	19350.00	g
Volumen del recipiente de $1/2\text{pie}^3 = 0.0141584\text{m}^3$	f	141584 E-07	141584 E-07	141584 E-07	$\text{m}^3$
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	PUS	1387.87	1359.61	1366.68	$\text{kg}/\text{m}^3$

### Compactado

Descripción	simb	M - 1	M - 2	M - 3	und
Peso de la muestra suelta + recipiente		33850.00	34000.00	33950.00	g
peso del recipiente		11650.00	11650.00	11650.00	g
Peso de la muestra suelta	Wc	22200.00	22350.00	22300.00	g
Volumen del recipiente de $1/2\text{pie}^3 = 0.0141584\text{m}^3$	f	141584 E-07	141584 E-07	141584 E-07	$\text{m}^3$
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	PUS	1567.97	1578.57	1575.03	$\text{kg}/\text{m}^3$

## AGREGADO GLOBAL

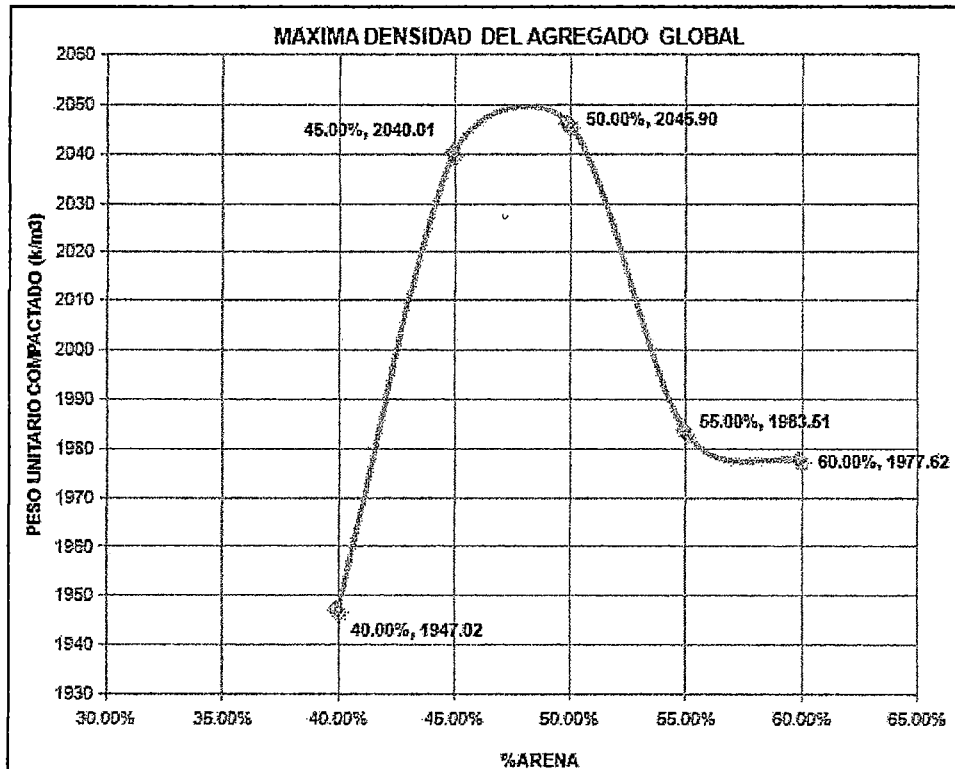
### Colocación de %A - %P

PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS						
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4	5
% A. FNO	A	40	45	50	55	60
% A. GRUESO	P	60	55	50	45	40

### Peso Unitario Compactado del agregado global (balde de ½ pi³)

Balde (m³)	A/P	PESO COMPACTADO (g)			PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)			PUC promedio (kg/m³)
		I	II	III	I	II	III	
0.01416	1	27250	27600	27850	1924.65	1949.37	1967.03	1947.02
0.01416	2	28750	28950	28950	2030.59	2044.72	2044.72	2040.01
0.01416	3	28900	28850	29150	2041.19	2037.66	2058.85	2045.90
0.01416	4	28250	28000	28000	1995.28	1977.62	1977.62	1983.51
0.01416	5	28150	28050	27800	1988.22	1981.15	1963.50	1977.62

### Gráfico de Peso Unitario Compactado – Relación A/P



Con los resultados obtenidos se verifica la gráfica PUC vs Relación A/P, y se afina el rango entre 45% a 50% de A/P, y se obtiene la relación de Arena y Piedra, mediante la resistencia a la compresión a los 7 días.

PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS					
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4
% A. FINO	A	45	47	48	50
% A. GRUESO	P	55	53	52	50

Con estas relaciones de A/P, buscaremos la máxima resistencia a los 7 días, y definiremos el porcentaje de intervención de la arena y piedra.

A/P %	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	AREA cm <sup>2</sup>	f' <sub>c</sub> 7 días kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO
						kg/cm <sup>2</sup>
45.00	M1	15.00	57396.72	176.71	324.80	325.67
	M2	14.95	57942.49	175.54	330.08	
	M3	15.05	57305.76	177.89	322.13	
47.00	M4	14.90	58215.38	174.37	333.87	334.32
	M5	14.70	58397.30	169.72	344.09	
	M6	14.90	56669.03	174.37	325.00	
48.00	M7	14.90	57851.53	174.37	331.78	334.12
	M8	15.20	61853.84	181.46	340.87	
	M9	14.90	57487.68	174.37	329.70	
50.00	M10	14.90	54758.84	174.37	314.04	307.46
	M11	14.95	52757.68	175.54	300.55	
	M12	14.90	53667.30	174.37	307.78	

Entonces se tiene que para la relación A/P de 47/53 el f'<sub>c</sub> es mayor, entonces dicha relación A/P es la que interviene para nuestro agregado global

### Granulometría

De los porcentajes retenidos de las muestras 1, 2 y 3 de Arena y Piedra se tiene:

Tamiz ASTM	% retenido de Arena			% retenido Piedra		
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 1	M - 2	M - 3
2"				0.00	0.00	0.00
1 1/2"				0.00	0.00	0.00
1"				0.00	0.00	0.00
3/4"				71.14	72.11	68.47
1/2"				28.10	27.52	31.13
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.56	0.24	0.24
N° 4	5.50	6.80	7.20	0.12	0.13	0.15
N° 8	14.70	18.40	17.40	0.08	0.00	0.01
N° 16	21.90	24.10	22.50			
N° 30	19.20	18.90	19.00			
N° 50	18.30	17.40	18.30			
N° 100	10.30	10.00	10.50			
FONDO	10.10	4.40	5.10			

Con estos resultados se hace el cálculo de la granulometría del Agregado Global

Módulo de Finura = 5.577

Tamiz ASTM	Promedio Arena	Promedio Piedra	% Retenido Arena	% Retenido Piedra	% Retenido global	% Retenido acumulado	% que pasa
	47.00%	53.00%					
2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"		70.57	0.00	37.40	37.40	37.40	62.60
1/2"		28.92	0.00	15.33	15.33	52.73	47.27
3/8"	0.00	0.35	0.00	0.18	0.18	52.91	47.09
N° 4	6.50	0.13	3.06	0.07	3.13	56.04	43.96
N° 8	16.83	0.03	7.91	0.02	7.93	63.97	36.03
N° 16	22.83		10.73	0.00	10.73	74.70	25.30
N° 30	19.03		8.95	0.00	8.95	83.64	16.36
N° 50	18.00		8.46	0.00	8.46	92.10	7.90
N° 100	10.27		4.83	0.00	4.83	96.93	3.07
FONDO	6.53		3.07	0.00	3.07	100.00	0.00

# **ANEXO B**

## DISEÑO DE MEZCLA

### Agregado Global

Con los resultados obtenidos se verifica la grafica PUC vs Relación A/P, y se afina el rango entre 45% a 50% de A/P, y se obtiene la relación de Arena y Piedra, mediante la resistencia a la compresión a los 7 días.

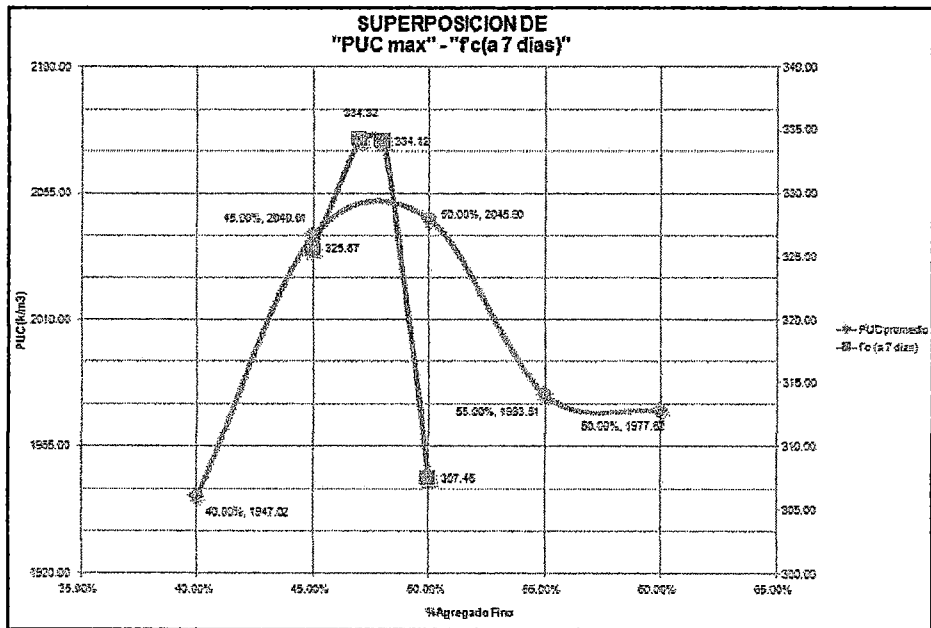
PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS					
RELACIÓN	A/P	1	2	3	4
% A. FINO	A	45	47	48	50
% A. GRUESO	P	55	53	52	50

Con estas relaciones de A/P, buscaremos la máxima resistencia a los 7 días, y definiremos el porcentaje de intervención de la arena y piedra.

A/P %	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	AREA cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> 7 días kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO
						kg/cm <sup>2</sup>
45.00	M1	15.00	57396.72	176.71	324.80	325.67
	M2	14.95	57942.49	175.54	330.08	
	M3	15.05	57305.76	177.89	322.13	
47.00	M4	14.90	58215.38	174.37	333.87	334.32
	M5	14.70	58397.30	169.72	344.09	
	M6	14.90	56669.03	174.37	325.00	
48.00	M7	14.90	57851.53	174.37	331.78	334.12
	M8	15.20	61853.84	181.46	340.87	
	M9	14.90	57487.68	174.37	329.70	
50.00	M10	14.90	54758.84	174.37	314.04	307.46
	M11	14.95	52757.68	175.54	300.55	
	M12	14.90	53667.30	174.37	307.78	



Se superpone las gráficas de PUC y RESISTENCIA, para tener mejor entendimiento del comportamiento de los agregados en la mezcla de concreto,



antes de realizar el diseño de concreto patrón.

Y escogemos la relación de Arena y Piedra de 47% y 53 % respectivamente.

Con este parámetro realizamos un diseño de mezcla preliminar, de manera de obtener el agua óptima para obtener un asentamiento de 3" a 4"; cuando hallamos la cantidad de agua óptima, es allí cuando estableceremos el diseño de mezcla para el concreto patrón.

Se realizarán 3 diseños de mezclas preliminares variando la cantidad de agua para cada relación a/c, y en cada diseño de mezcla se tomará medida de los asentamientos, con el objetivo de poder realizar una gráfica, en la cual obtendremos la cantidad de agua óptima que nos entregue un concreto con un asentamiento de 3" a 4".

a/c	Agua (litros)		
	cantidad 1	cantidad 2	cantidad 3
0.40	230.00	235.00	240.00
0.45	225.00	227.00	230.00
0.50	215.00	220.00	225.00

### Diseño de mezcla preliminar

La secuencia de diseño que realizaremos a continuación será para 1m<sup>3</sup> de concreto, con una cantidad de agua de 250 l/m<sup>3</sup>, esta misma secuencia se utilizarán para las demás relaciones a/c.

1. Elección de la relación agua/cemento = 0.40
2. Elección de la consistencia: Concreto de consistencia plástica, con un rango de asentamiento 3" – 4"
3. Estimación del contenido de aire atrapado por m<sup>3</sup> de concreto:

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
3/4"	2,0%
1"	1,5%
1 1/2"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%

En base a la tabla del cuadro 3.4.2, se tiene el porcentaje aproximado de aire atrapado en mezclas sin aire atrapado, para diferentes tamaños nominales máximos del agregado grueso se tiene que para un T.N.M. de 1" el contenido de aire es de 1.5% del volumen del concreto.

4. Cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto: conociendo la relación de agua/cemento = 0.40, se obtiene la cantidad de cemento  
agua/cemento = 0.40 = 250/cemento, entonces: cemento = 625 kg
5. Cálculo del volumen absoluto de cemento:

$$VolCemento(m3) = \frac{\text{peso\_del\_cemento}(kg)}{\text{peso\_especifico\_cemento}(kg/m3)}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 625/3110 = 0.201 \text{ m}^3$$

6. Cálculo del volumen absoluto de agua

$$Vol\_Agua(m3) = \frac{\text{peso\_de\_agua}(kg)}{\text{peso\_especifico\_agua}(kg/m3)}$$

7. Cálculo del volumen absoluto que ocuparan los agregados: como se diseña para 1m<sup>3</sup> de concreto, entonces restaremos los volúmenes de cemento, agua y aire a 1m<sup>3</sup>

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - 0.201 - 0.250 - 0.015$$

$$\text{Volumen de agregados} = 0.534\text{m}^3$$

**Tenemos:**

$$\text{Vol. Agregados} = \text{Vol arena} + \text{Vol piedra} = 0.534$$

$$\text{Vol piedra} = 0.534 - \text{Vol arena}$$

**Además:**

$$\text{Peso arena} = 2574.92 \times \text{Vol arena} \quad (1)$$

$$\text{Peso piedra} = 2719.95 \times (0.534 - \text{Vol arena}) \quad (2)$$

**Sumando las relaciones (1) y (2)**

$$\text{Peso arena} + \text{Peso piedra} = 1452.55 - 145.03 \text{ Vol arena}$$

**Se cumple:**

$$\frac{\text{Peso}_\text{Arena}}{\text{Peso}_\text{Total}} = \frac{\% \text{Arena}}{100\%}$$

$$\frac{2574.92 \times \text{Vol}_{\text{arena}}}{1452.55 - 145.034 \times \text{Vol}_{\text{arena}}} = \frac{47}{100}$$

Resolviendo la ecuación se tiene los volúmenes de arena y piedra:

$$\text{Vol arena} = 0.258\text{m}^3$$

$$\text{Vol piedra} = 0.276\text{m}^3$$

8. Cálculo de los pesos de los agregados al estado seco:

9.  $\text{Peso arena} = 2574.92 \times 0.258\text{m}^3$

$$\text{Peso arena} = 665.09\text{kg}$$

$$\text{Peso piedra} = 2719.95 \times 0.276\text{m}^3$$

$$\text{Peso piedra} = 750.00\text{kg}$$

10. Corrección y ajustes del agua por contenido de humedad y abrasión de los agregados:

$$\text{Ajuste}_\text{N}^\circ 1_\text{por}_\text{peso}_\text{seco}_\text{Arena} = \text{peso}_\text{Arena} \times (\% \text{Humedad} - \% \text{Abs})$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 1 \text{ por peso seco Arena} = 665.09 \times (2.01\% - 1.94\%)$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 1 \text{ por peso seco Arena} = 0.473 \text{ l}$$

$$\text{Ajuste}_\text{N}^\circ 2_\text{por}_\text{peso}_\text{seco}_\text{Piedra} = \text{peso}_\text{Piedra} \times (\% \text{Humedad} - \% \text{Abs})$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 2 \text{ por peso seco Arena} = 750.00 \times (0.23\% - 0.90\%)$$

$$\text{Ajuste N}^\circ 2 \text{ por peso seco Arena} = -4.974 \text{ l}$$

Entonces la corrección por agua será la suma de los ajustes N°1 y N°2:

$$+0.473 - 4.974 = -4.500 \text{ l}$$

$$\text{Agua corregida} = 250.00 - (-4.500)$$

$$\text{Agua corregida} = 254.50 \text{ l}$$

11. Corrección de los pesos de los agregados por humedad:

$$\text{peso\_humedo\_Arena} = \text{peso\_Arena} \times (1 + \% \text{Humedad})$$

Peso húmedo arena = 665.09 x (1+2.01%)

Peso húmedo arena = 678.45 kg

$$\text{peso\_humedo\_Piedra} = \text{peso\_Piedra} \times (1 + \% \text{Humedad})$$

Peso húmedo piedra = 750.00 x (1+0.23%)

Peso húmedo piedra = 751.75 kg

12. Para el diseño de una tanda de laboratorio se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales respectivos para 48 kg de concreto, es:

Cemento	=	12.99 kg
Agua	=	5.29 l
Arena	=	14.10 kg
Piedra	=	15.62 kg

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.40 (Con 250 l/m3)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	250
A/C	0.40
CEMENTO(kg)	625.00
P.E. CEMENTO(kg/m3)	3110
P.E. AGUA(kg/m3)	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m3)	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m3)	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	625.00	0.201	1.00	13.10	12.99
Agua	250.00	0.250	0.40	5.24	5.29
Arena	665.09	0.258	1.06	13.94	14.10
Piedra	750.00	0.276	1.20	15.72	15.62
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.40 (Con 255 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	255
A/C	0.40
CEMENTO(kg)	637.50
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	637.50	0.205	1.00	13.40	13.29
Agua	255.00	0.255	0.40	5.36	5.41
Arena	653.86	0.254	1.03	13.74	13.90
Piedra	737.33	0.271	1.16	15.50	15.40
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.40 (Con 260 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	260
A/C	0.40
CEMENTO(kg)	650.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	650.00	0.209	1.00	13.70	13.59
Agua	260.00	0.260	0.40	5.48	5.53
Arena	642.63	0.250	0.99	13.55	13.70
Piedra	724.66	0.266	1.11	15.27	15.18
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.45 (Con 240 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	240
A/C	0.45
CEMENTO(kg)	533.33
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	533.33	0.171	1.00	11.16	11.06
Agua	240.00	0.240	0.45	5.02	5.08
Arena	714.25	0.277	1.34	14.95	15.11
Piedra	805.44	0.296	1.51	16.86	16.75
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de: 3 1/4"

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.45 (Con 245 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	245
A/C	0.45
CEMENTO(kg)	544.44
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	544.44	0.175	1.00	11.43	11.33
Agua	245.00	0.245	0.45	5.14	5.20
Arena	703.58	0.273	1.29	14.77	14.93
Piedra	793.40	0.292	1.46	16.66	16.55
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de: 4 1/4"

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.45 (Con 250 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	250
A/C	0.45
CEMENTO(kg)	555.56
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	555.56	0.179	1.00	11.70	11.59
Agua	250.00	0.250	0.45	5.26	5.31
Arena	692.90	0.269	1.25	14.59	14.75
Piedra	781.36	0.287	1.41	16.45	16.34
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.50 (Con 230 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	230
A/C	0.50
CEMENTO(kg)	460.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	460.00	0.148	1.00	9.61	9.51
Agua	230.00	0.230	0.50	4.80	4.86
Arena	756.07	0.294	1.64	15.79	15.95
Piedra	852.59	0.313	1.85	17.80	17.67
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.50 (Con 235 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	235
A/C	0.50
CEMENTO(kg)	470.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	470.00	0.151	1.00	9.84	9.75
Agua	235.00	0.235	0.50	4.92	4.98
Arena	745.84	0.290	1.59	15.62	15.78
Piedra	841.06	0.309	1.79	17.61	17.49
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de: 5 1/2"

**Cuadro Resumen para el diseño preliminar de a/c = 0.50 (Con 240 l/m<sup>3</sup>)**

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	240
A/C	0.50
CEMENTO(kg)	480.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	480.00	0.154	1.00	10.08	9.99
Agua	240.00	0.240	0.50	5.04	5.10
Arena	735.61	0.286	1.53	15.45	15.61
Piedra	829.52	0.305	1.73	17.42	17.30
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			

Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de: 6 3/4"



### Diseño de mezcla de concreto patrón

Obtenidos los asentamientos para cada diseño preliminar, se calcula las cantidades de agua óptimas, y se obtiene el diseño de mezcla, mediante la secuencia de diseño.

#### 1- Diseño Patrón con relación a/c = 0.40

DATOS	
TANDA	48
AGUA	260.00
A/C	0.4
CEMENTO	650.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
Cemento	650.00	0.209	1.00	13.70	13.59
Agua	260.00	0.260	0.40	5.48	5.53
Arena	642.63	0.250	0.99	13.55	13.70
Piedra	724.66	0.266	1.11	15.27	15.18
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			
Cemento	650.00	0.209	1.00	13.70	13.59
Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:				4"	

#### 2- Diseño Patrón con relación a/c = 0.45

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	242.00
A/C	0.45
CEMENTO(kg)	537.78
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso	Vol. Abs.	Dosif. Unit	Tanda	Tanda corregida
	(kg)	(m <sup>3</sup> )	vol.	(kg)	(kg)
Cemento	537.78	0.173	1.00	11.27	11.17
Agua	242.00	0.242	0.45	5.07	5.13
Arena	709.98	0.276	1.32	14.88	15.04
Piedra	800.62	0.294	1.49	16.78	16.67
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			
Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:				4"	

### 3- Diseño Patrón con relación a/c = 0.50

DATOS	
TANDA (kg)	48
AGUA (litros)	228.00
A/C	0.5
CEMENTO(kg)	456.00
P.E. CEMENTO(kg/m <sup>3</sup> )	3110
P.E. AGUA(kg/m <sup>3</sup> )	1000

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	ARENA	PIEDRA
P.E. (kg/m <sup>3</sup> )	2574	2719
%Abs	1.94%	0.90%
%humedad	2.01%	0.23%
Proporción	47.00%	53.00%

Descripción	Peso (kg)	Vol. Abs. (m <sup>3</sup> )	Dosif. Unit vol.	Tanda (kg)	Tanda corregida (kg)
Cemento	456.00	0.147	1.00	9.51	9.42
Agua	228.00	0.228	0.50	4.76	4.82
Arena	760.17	0.295	1.67	15.85	16.02
Piedra	857.21	0.315	1.88	17.88	17.75
Aire atrapado (%)	1.5%	0.015			
Para este diseño preliminar se obtuvo un asentamiento de:				4"	

### Dosificación de la fibra metálica para cada relación a/c

#### 1- Diseño Patrón con relación a/c = 0.40

Para las fibras metálicas RC 65/60 BN y RC 80/60 BN

10 kg/m <sup>3</sup>	0.211 kg
15 kg/m <sup>3</sup>	0.316 kg
20 kg/m <sup>3</sup>	0.422 kg

#### 2- Diseño Patrón con relación a/c = 0.45

Para las fibras metálicas RC 65/60 BN y RC 80/60 BN

10 kg/m <sup>3</sup>	0.210 kg
15 kg/m <sup>3</sup>	0.314 kg
20 kg/m <sup>3</sup>	0.419 kg

#### 3- Diseño Patrón con relación a/c = 0.50

Para las fibras metálicas RC 65/60 BN y RC 80/60 BN

10 kg/m <sup>3</sup>	0.209 kg
15 kg/m <sup>3</sup>	0.313 kg
20 kg/m <sup>3</sup>	0.417 kg

# **ANEXO C**

**PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

**FLUIDEZ (obtención de datos)**

Mezcla	DOSIFICACION DE FIBRA		DIAMETROS DE LA MESA DE SACUDIDAS					
			D - 1	D - 2	D - 3	D - 4	D - 5	
a/c	kg/m <sup>3</sup>		cm	cm	cm	cm	cm	
a/c = 0.40	Patrón	0	48.00	47.50	46.00	48.00	47.00	
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	49.35	49.35	48.30	47.25	48.30	
		15	47.75	48.30	50.40	49.05	48.30	
		20	46.20	48.30	49.35	47.25	48.85	
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	49.50	48.50	48.50	48.00	49.00	
		15	46.00	44.00	46.00	45.50	46.00	
		20	43.50	46.00	45.50	45.00	44.50	
	a/c = 0.45	Patrón	0	49.00	47.50	48.00	48.50	48.00
		Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	48.50	49.50	48.00	48.50	47.15
15			46.05	47.55	49.45	47.10	47.60	
20			49.45	48.10	46.75	48.50	47.80	
Fibra metálica 2 RC 80/60 BN		10	49.80	49.20	49.80	46.30	48.60	
		15	47.45	47.45	48.05	48.00	47.50	
		20	47.95	47.40	48.50	47.95	49.00	
a/c = 0.50		Patrón	0	50.00	52.00	51.40	53.00	51.00
		Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	50.00	52.00	50.20	49.15	48.95
	15		51.00	50.00	47.95	50.00	48.95	
	20		49.25	48.95	47.95	50.10	50.50	
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	46.20	46.20	45.70	47.25	44.10	
		15	44.10	46.20	46.20	45.70	45.15	
		20	41.50	46.20	46.20	42.00	42.00	

**FLUIDEZ (procesamiento de datos)**

Mezcla	DOSIFICACIÓN DE FIBRA		DIAMETRO PROMEDIO	FACTOR DE ASENTAMIENTO
a/c	kg/m3		kg/m3	F
a/c = 0.40	Patrón	0	47.30	89.20
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	48.51	94.04
		15	48.76	95.04
		20	47.99	91.96
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	48.70	94.80
		15	45.50	82.00
		20	44.90	79.60
a/c = 0.45	Patrón	0	48.20	92.80
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	48.33	93.32
		15	47.55	90.20
		20	48.12	92.48
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	48.74	94.96
		15	47.69	90.76
		20	48.16	92.64
a/c = 0.50	Patrón	0	51.48	105.92
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	50.06	100.24
		15	49.58	98.32
		20	49.35	97.40
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	45.89	83.56
		15	45.47	81.88
		20	43.58	74.32

**PESO UNITARIO (obtención de datos)**

Mezcla	DOSIFICACIÓN DE FIBRA		PESO DE BALDE	PESO DE BALDE +		
				MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3
a/c	kg/m <sup>3</sup>		g	g	g	g
a/c = 0.40	Patrón	0	6550.00	28600.00	28550.00	28450.00
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	6450.00	28430.00	28505.00	28640.00
		15	7220.00	29575.00	29545.00	29320.00
		20	7220.00	29600.00	29830.00	29030.00
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	6950.00	29050.00	29150.00	29150.00
		15	6950.00	29200.00	29100.00	29150.00
		20	7000.00	29400.00	29400.00	29250.00
a/c = 0.45	Patrón	0	6950.00	29400.00	29350.00	29000.00
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	6850.00	29200.00	29000.00	29150.00
		15	6850.00	29150.00	29150.00	29300.00
		20	6850.00	29150.00	29150.00	29250.00
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	6900.00	29400.00	29350.00	29300.00
		15	6900.00	29550.00	29300.00	29300.00
		20	6900.00	29350.00	29350.00	29350.00
a/c = 0.50	Patrón	0	6900.00	29400.00	29450.00	29500.00
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	6850.00	29300.00	29200.00	29350.00
		15	6850.00	29350.00	29400.00	29420.00
		20	6850.00	29250.00	29350.00	29200.00
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	6700.00	29450.00	29350.00	29350.00
		15	6950.00	29650.00	29550.00	29550.00
		20	6950.00	29750.00	29400.00	29500.00

**PESO UNITARIO (procesamiento de datos)**

Mezcla	DOSIFICACIÓN DE FIBRA		PESO			Promedio
			UNITARIO 1	UNITARIO 2	UNITARIO 3	
a/c	kg/m3		kg/m3	kg/m3	kg/m3	kg/m3
a/c = 0.40	Patrón	0	2336.07	2330.77	2320.17	2329.00
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	2328.65	2336.59	2350.90	2338.71
		15	2368.38	2365.20	2341.36	2358.31
		20	2371.03	2395.39	2310.64	2359.02
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	2341.36	2351.96	2351.96	2348.43
		15	2357.25	2346.66	2351.96	2351.96
20		2373.15	2373.15	2357.25	2367.85	
a/c = 0.45	Patrón	0	2378.44	2373.15	2336.07	2362.55
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	2367.85	2346.66	2362.55	2359.02
		15	2362.55	2362.55	2378.44	2367.85
		20	2362.55	2362.55	2373.15	2366.08
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	2383.74	2378.44	2373.15	2378.44
		15	2399.63	2373.15	2373.15	2381.97
20		2378.44	2378.44	2378.44	2378.44	
a/c = 0.50	Patrón	0	2383.74	2389.04	2394.33	2389.04
	Fibra metálica 1 RC 65/60 BN	10	2378.44	2367.85	30368.85	2373.15
		15	2383.74	2389.04	2391.16	2386.39
		20	2373.15	2383.74	2367.85	2378.44
	Fibra metálica 2 RC 80/60 BN	10	2410.23	2399.63	2399.63	2403.16
		15	2404.93	2394.33	2394.33	2397.87
20		2415.52	2378.44	2389.04	2394.33	

### EXUDACIÓN - Concreto patrón

TIEMPO (min)		a/c = 0.40 Vol. Agua (ml)		a/c = 0.45 Vol. Agua (ml)		a/c = 0.50 Vol. Agua (ml)	
parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.
00:00	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:10	00:10	0.80	0.80	1.50	1.50	2.60	2.60
00:10	00:20	2.70	3.50	3.40	4.90	3.10	5.70
00:10	00:30	3.30	6.80	2.50	7.40	3.40	9.10
00:10	00:40	2.50	9.30	3.00	10.40	3.00	12.10
00:30	01:10	5.20	14.50	6.30	16.70	7.80	19.90
00:30	01:40	6.80	21.30	6.50	23.20	8.10	28.00
00:30	02:10	3.00	24.30	4.20	27.40	6.50	34.50
00:30	02:40	0.30	24.60	2.00	29.40	4.00	38.50
00:30	03:10	0.00	24.60	0.60	30.00	0.30	38.80
00:30	03:40			0.00	30.00	0.00	38.80

Descripción	Simb	und	0.40	0.45	0.50
Cantidad de fibra metálica	0	kg/m <sup>3</sup>	0	0	0
Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
Peso del recipiente		kg	7.05	7.00	7.05
Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.70	27.45	27.75
Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.65	20.45	20.7
Peso total del concreto por m <sup>3</sup> (diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48
Peso de agua por m <sup>3</sup> de concreto(diseño)	A(d)	kg	5.56	5.16	4.86
Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.39	2.20	2.10
Volumen del agua exudada	A(e)	ml	24.60	30.00	38.8
% de Exudación		%	1.03	1.36	1.85



**EXUDACIÓN - Concreto patrón con fibras**

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN – (obtención de datos)**

Mezcla a/c	Tiempo (min)		FIBRA METÁLICA 1 RC 65/60 BN					
			10 kg/m3 Vol. Agua (ml)		15 kg/m3 Vol. Agua (ml)		20 kg/m3 Vol. Agua (ml)	
	parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.
0.40	00:00	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	00:10	00:10	0.60	0.60	0.70	0.70	0.40	0.40
	00:10	00:20	1.90	2.50	2.20	2.90	2.10	2.50
	00:10	00:30	2.70	5.20	3.60	6.50	3.00	5.50
	00:10	00:40	3.00	8.20	2.80	9.30	3.20	8.70
	00:30	01:10	5.70	13.90	5.80	15.10	5.10	13.80
	00:30	01:40	6.50	20.40	6.50	21.60	6.40	20.20
	00:30	02:10	3.60	24.00	3.00	24.60	3.50	23.70
	00:30	02:40	0.40	24.40	0.30	24.90	0.10	23.80
	00:30	03:10	0.00	24.40	0.00	24.90	0.00	23.80
0.45	00:00	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	00:10	00:10	2.00	2.00	1.20	1.20	1.00	1.00
	00:10	00:20	2.60	4.60	2.00	3.20	1.80	2.80
	00:10	00:30	3.10	7.70	3.10	6.30	2.60	5.40
	00:10	00:40	2.80	10.50	3.00	9.30	3.50	8.90
	00:30	01:10	5.70	16.20	5.10	14.40	5.50	14.40
	00:30	01:40	7.10	23.30	6.80	21.20	7.00	21.40
	00:30	02:10	4.80	28.10	4.50	25.70	4.00	25.40
	00:30	02:40	2.30	30.40	2.70	28.40	3.00	28.40
	00:30	03:10	0.50	30.90	0.40	28.80	0.20	28.60
0.50	00:00	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	00:10	00:10	1.70	1.70	2.00	2.00	1.80	1.80
	00:10	00:20	2.50	4.20	2.60	4.60	2.90	4.70
	00:10	00:30	3.50	7.70	3.50	8.10	3.70	8.40
	00:10	00:40	3.30	11.00	3.00	11.10	3.20	11.60
	00:30	01:10	6.90	17.90	6.50	17.60	7.00	18.60
	00:30	01:40	8.80	26.70	8.30	25.90	8.90	27.50
	00:30	02:10	6.00	32.70	5.90	31.80	6.30	33.80
	00:30	02:40	3.60	36.30	3.10	34.90	3.00	36.80
	00:30	03:10	0.20	36.50	0.20	35.10	0.10	36.90
00:30	03:40	0.00	36.50	0.00	35.10	0.00	36.90	

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN – (procesamiento de datos)**

Diseño	Descripción	Simb	und	Fibra Metálica 1 RC 65/60 BN		
0.40	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	7.00	7.14	7.09
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.70	27.65	27.65
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.70	20.51	20.56
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	5.56	5.56	5.56
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.40	2.38	2.38
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	24.40	24.90	23.80
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>1.02</b>	<b>1.05</b>	<b>1.00</b>
0.45	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	7.00	6.85	7.00
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.50	26.85	27.60
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.50	20.00	20.60
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	5.16	5.16	5.16
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.20	2.15	2.21
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	30.90	28.80	28.60
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>1.40</b>	<b>1.34</b>	<b>1.29</b>
0.50	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	6.80	6.80	6.80
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.10	27.00	27.15
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.30	20.20	20.35
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	4.86	4.86	4.86
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.06	2.05	2.06
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	36.50	35.10	36.90
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>1.78</b>	<b>1.72</b>	<b>1.79</b>

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (obtención de datos)**

Mezcla a/c	Tiempo (min)		FIBRA METÁLICA 2 RC 80/60 BN					
			10 kg/m3		15 kg/m3		20 kg/m3	
			Vol. Agua (ml)	Vol. Agua (ml)	Vol. Agua (ml)	Vol. Agua (ml)	Vol. Agua (ml)	Vol. Agua (ml)
0.40	parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.	parcial	acumul.
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.50	0.50	0.20	0.20	0.60	0.60	0.50	0.50
	2.30	2.80	2.00	2.20	1.90	2.50	2.30	2.80
	3.00	5.80	2.00	4.20	2.10	4.60	3.00	5.80
	2.40	8.20	2.40	6.60	2.50	7.10	2.40	8.20
	6.00	14.20	6.10	12.70	5.60	12.70	6.00	14.20
	4.40	18.60	5.00	17.70	5.10	17.80	4.40	18.60
	3.00	21.60	2.30	20.00	2.00	19.80	3.00	21.60
	0.20	21.80	0.20	20.20	0.40	20.20	0.20	21.80
0.00	21.80	0.00	20.20	0.00	20.20	0.00	21.80	
0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.40	2.40	1.80	1.80	2.00	2.00	2.40	2.40
	2.70	5.10	2.60	4.40	3.00	5.00	2.70	5.10
	3.00	8.10	3.00	7.40	2.60	7.60	3.00	8.10
	2.60	10.70	2.30	9.70	2.40	10.00	2.60	10.70
	5.70	16.40	5.40	15.10	6.50	16.50	5.70	16.40
	6.80	23.20	6.70	21.80	7.00	23.50	6.80	23.20
	3.90	27.10	4.80	26.60	3.00	26.50	3.90	27.10
	0.40	27.50	0.80	27.40	0.50	27.00	0.40	27.50
	0.00	27.50	0.00	27.40	0.00	27.00	0.00	27.50
0.00	27.50	0.00	27.40	0.00	27.00	0.00	27.50	
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.50	2.50	1.65	1.65	2.10	2.10	2.50	2.50
	3.10	5.60	2.40	4.05	3.00	5.10	3.10	5.60
	3.40	9.00	2.80	6.85	3.50	8.60	3.40	9.00
	3.60	12.60	3.30	10.15	3.00	11.60	3.60	12.60
	7.90	20.50	8.00	18.15	8.30	19.90	7.90	20.50
	6.60	27.10	6.80	24.95	6.20	26.10	6.60	27.10
	4.20	31.30	5.95	30.90	5.40	31.50	4.20	31.30
	2.20	33.50	3.10	34.00	1.80	33.30	2.20	33.50
	0.50	34.00	0.20	34.20	0.40	33.70	0.50	34.00
0.00	34.00	0.00	34.20	0.00	33.70	0.00	34.00	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (procesamiento de datos)**

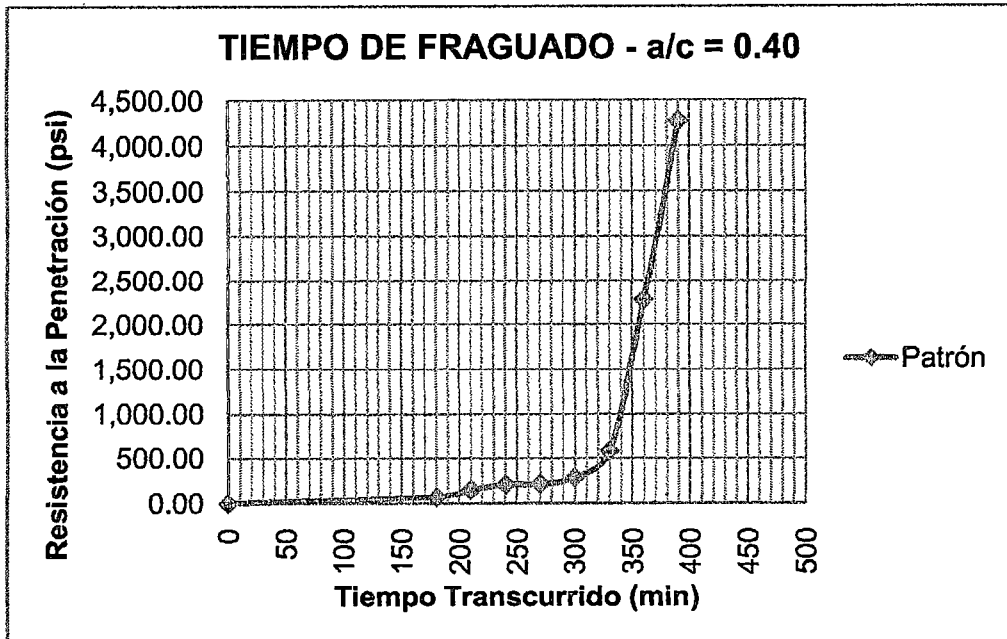
Mezcla	Descripción	Simb	und	Fibra Metálica 2 RC 80/60 BN		
0.40	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	7.34	7.11	7.08
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.35	27.59	27.46
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.01	20.48	20.38
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	5.56	5.56	5.56
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.32	2.37	2.36
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	21.80	20.20	20.20
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>0.94</b>	<b>0.85</b>	<b>0.86</b>
0.45	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	6.85	6.85	6.80
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	26.80	27.35	27.35
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	19.95	20.50	20.55
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	5.16	5.16	5.16
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.14	2.20	2.21
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	27.50	27.40	27.00
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>1.28</b>	<b>1.24</b>	<b>1.22</b>
0.50	Cantidad de fibra metálica		kg/m3	10	15	20
	Capacidad del recipiente		P3	1/3	1/3	1/3
	Peso del recipiente		kg	6.85	6.80	6.80
	Peso del recipiente + peso del concreto		kg	27.20	26.85	27.10
	Peso de muestra de concreto ensayada	W(m)	kg	20.35	20.05	20.30
	Peso total del concreto por m3(diseño)	W(d)	kg	48.00	48.00	48.00
	Peso de agua por m3 de concreto(diseño)	A(d)	kg	4.86	4.86	4.86
	Peso de agua en la probeta de ensayo	A(m)	kg	2.06	2.03	2.06
	Volumen del agua exudada	A(e)	ml	34.00	34.20	33.70
	<b>% de Exudación</b>		<b>%</b>	<b>1.65</b>	<b>1.68</b>	<b>1.64</b>

## TIEMPO DE FRAGUADO

### Concreto patrón

Mezcla a/c	Tiempo transcurrido (min)			Patrón		
				agujas	Fuerza	Resistencia
0.40	Hora de Inicio		08:17	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:17	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:17	03:00	180	N°1	70.00	70.42
	11:47	00:30	210	N°1	150.00	150.90
	12:17	00:30	240	N°1	210.00	211.26
	12:47	00:30	270	N°2	170.00	216.45
	13:17	00:30	300	N°3	150.00	289.30
	13:47	00:30	330	N°4	145.00	583.49
	14:17	00:30	360	N°5	175.00	2281.65
14:47	00:30	390	N°6	210.00	4278.08	
0.45	Hora de Inicio		09:38	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	09:38	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	12:38	03:00	180	N°1	50.00	50.30
	12:53	00:15	195	N°1	80.00	80.48
	13:08	00:15	210	N°1	150.00	150.90
	13:23	00:15	225	N°1	200.00	201.20
	13:53	00:30	255	N°2	190.00	241.92
	14:23	00:30	285	N°3	180.00	347.16
	14:53	00:30	315	N°4	185.00	744.45
15:23	00:30	345	N°5	190.00	2477.21	
15:53	00:30	375	N°6	200.00	4074.37	
0.50	Hora de Inicio		10:34	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	10:34	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	13:34	03:00	180	N°1	50.00	50.30
	13:49	00:15	195	N°1	70.00	70.42
	14:19	00:30	225	N°1	200.00	201.20
	14:49	00:30	255	N°2	180.00	229.18
	15:19	00:30	285	N°3	175.00	337.52
	15:49	00:30	315	N°4	180.00	724.33
	16:19	00:30	345	N°5	190.00	2477.21
16:49	00:30	375	N°6	210.00	4278.08	

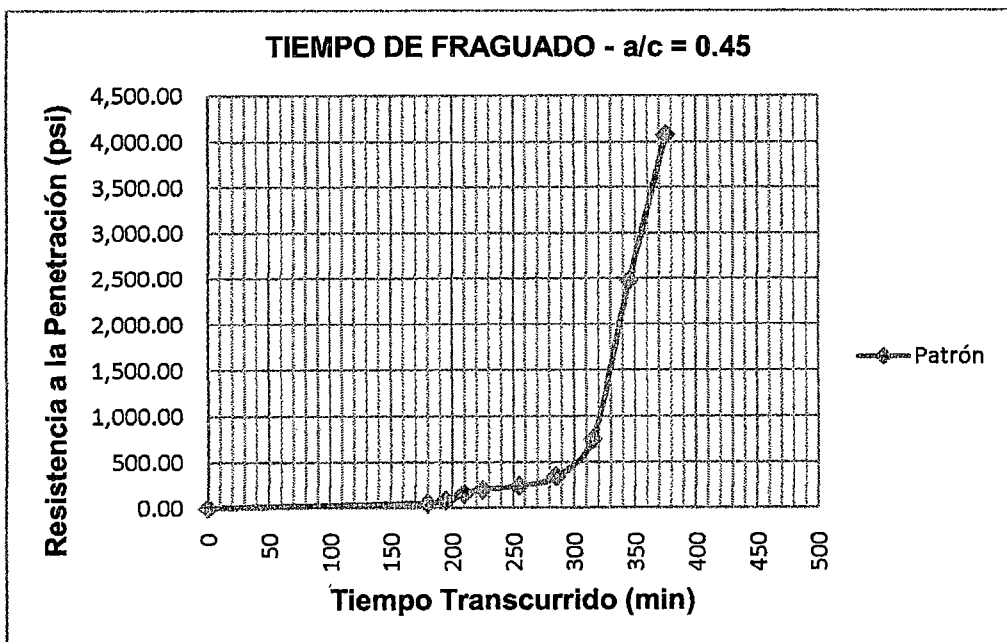
**FRAGUA a/c = 0.40 – Patrón**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 288min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 444min**

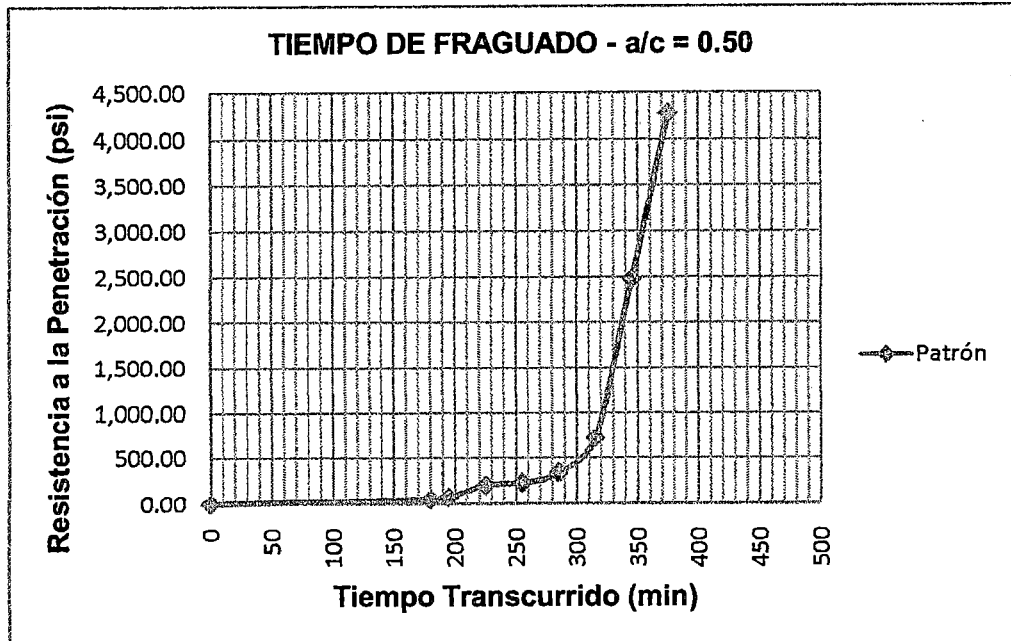
**FRAGUA a/c = 0.45 – Patrón**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 274min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 399min**

**FRAGUA a/c = 0.50 – Patrón**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 276min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 396min**

**TIEMPO DE FRAGUADO - Concreto con fibras**

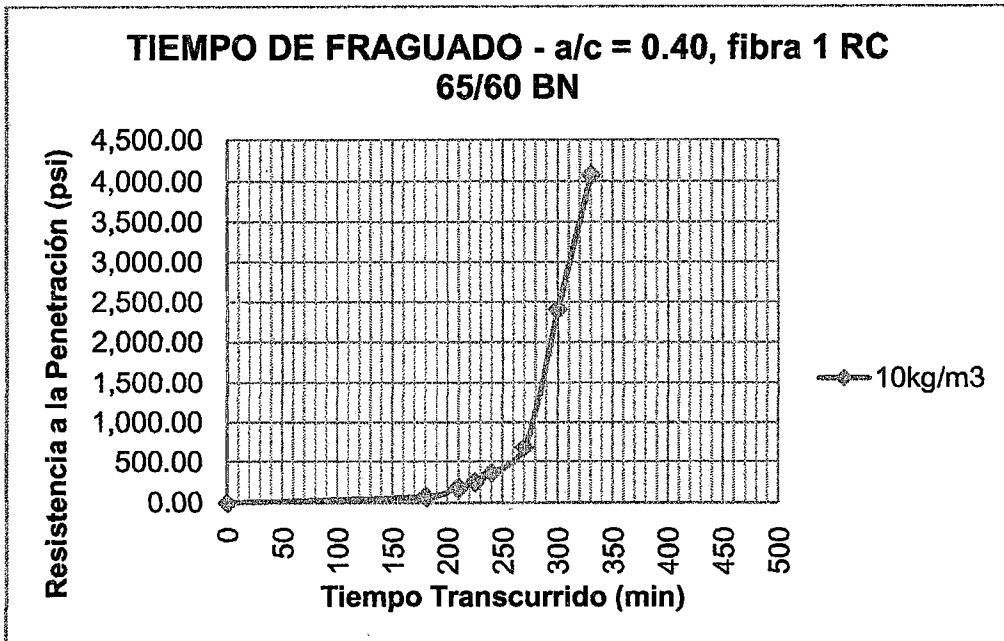
**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN**

**Relación a/c = 0.40**

Mezcla a/c	TIEMPO TRANSCURRIDO (min)			agujas	PATRÓN	
	Hora de Inicio				Fuerza	Resistencia
0.4 - 10kg/m3	Hora de Inicio	08:15		#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:15	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:15	03:00	180	N°1	70.00	70.42
	11:45	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	12:00	00:15	225	N°1	220.00	221.32
	12:15	00:15	240	N°2	170.00	216.45
	12:45	00:30	270	N°3	150.00	289.30
	13:15	00:30	300	N°4	130.00	523.13
13:45	00:30	330	N°5	180.00	2346.84	
0.4 - 15kg/m3	Hora de Inicio	09:10		#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	09:10	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	12:10	03:00	180	N°1	85.00	85.51
	12:40	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	13:10	00:30	240	N°2	185.00	235.55
	13:40	00:30	270	N°3	170.00	327.88
	14:10	00:30	300	N°4	190.00	764.57
	14:40	00:30	330	N°5	195.00	2542.40
15:10	00:30	360	N°6	210.00	4278.08	
0.4 - 20kg/m3	Hora de Inicio	08:30		#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:30	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:30	03:00	180	N°1	70.00	70.42
	11:45	00:15	195	N°1	120.00	120.72
	12:00	00:15	210	N°1	170.00	171.02
	12:30	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	13:00	00:30	270	N°3	175.00	337.52
	13:30	00:30	300	N°4	180.00	724.33
14:00	00:30	330	N°5	195.00	2542.40	
14:30	00:30	360	N°6	200.00	4074.37	



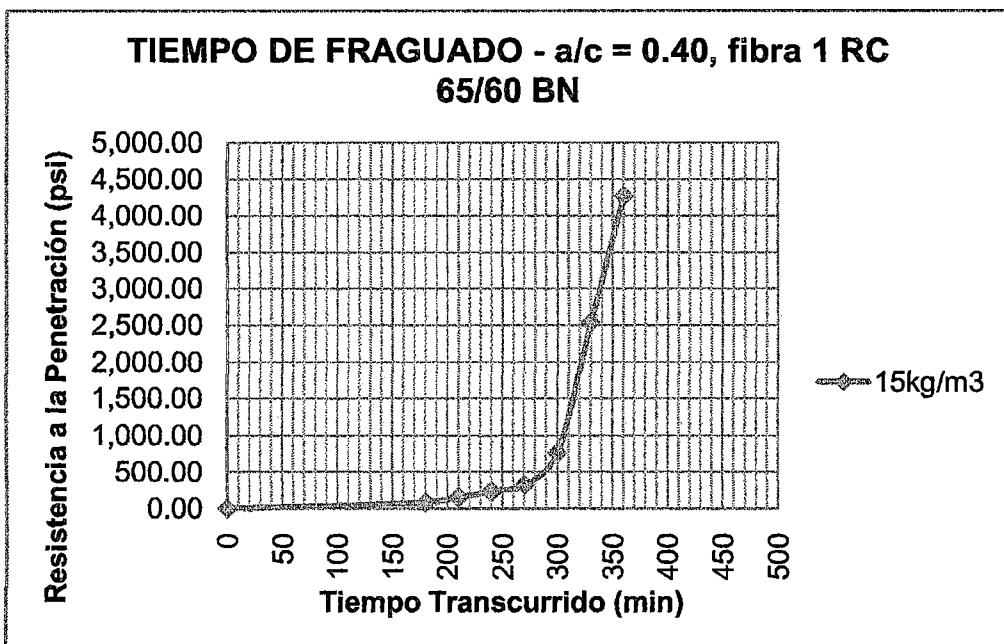
**FRAGUA a/c = 0.40 – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 246min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 334min**

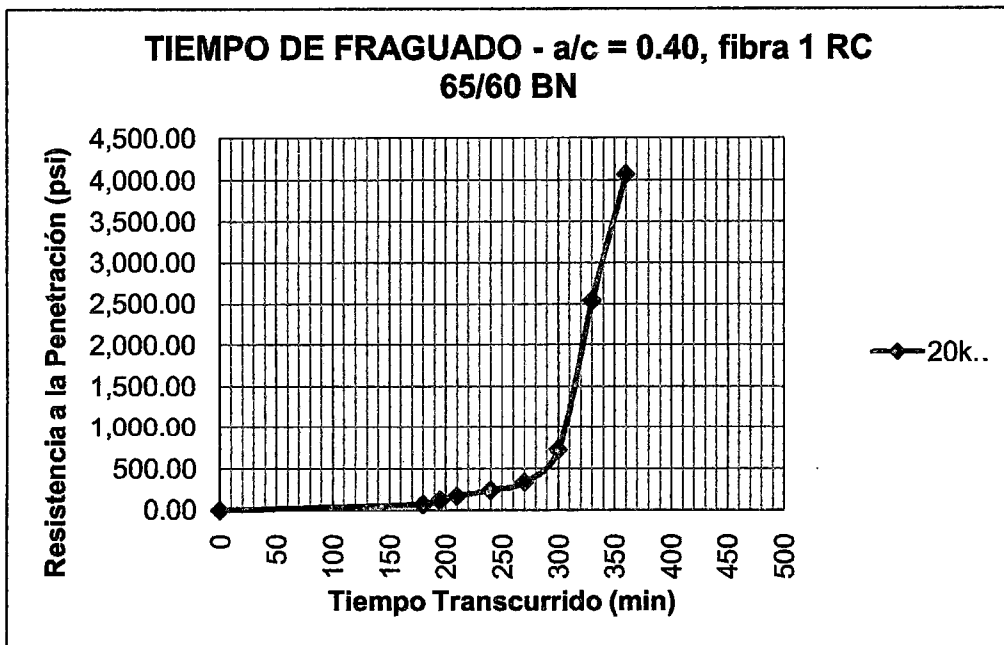
**FRAGUA a/c = 0.40 – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 262**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 380min**

**FRAGUA  $a/c = 0.40$  – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



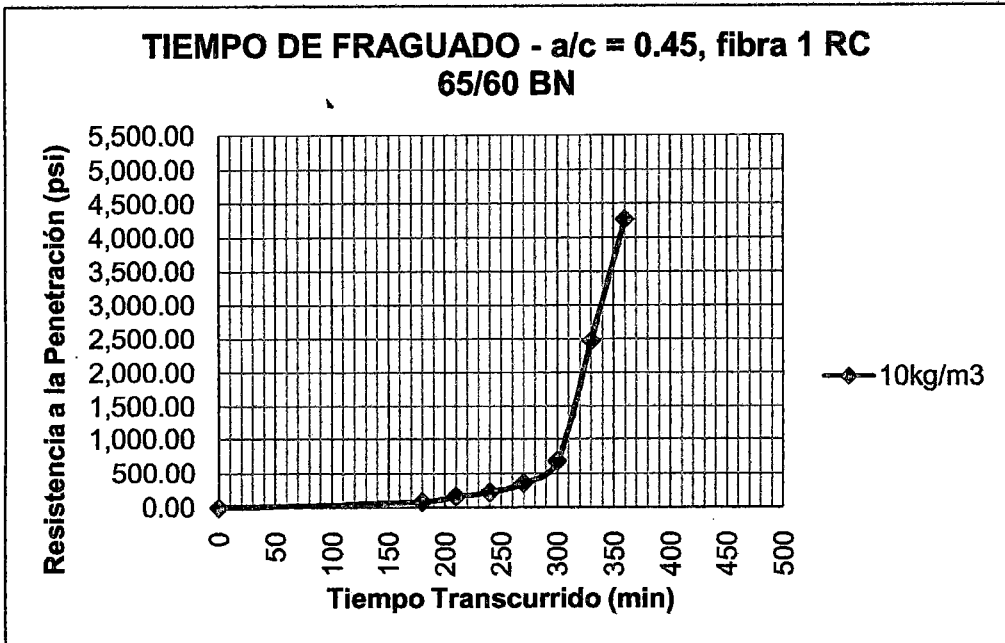
**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 261**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 380min**

Relación a/c = 0.45

Mezcla a/c	TIEMPO			agujas	PATRÓN	
	TRANSCURRIDO (min)				Fuerza	Resistencia
0.45 - 10kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		09:00	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	09:00	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	12:00	03:00	180	N°1	85.00	85.51
	12:30	00:30	210	N°1	165.00	165.99
	13:00	00:30	240	N°2	180.00	229.18
	13:30	00:30	270	N°3	185.00	356.81
	14:00	00:30	300	N°4	170.00	684.09
	14:30	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
15:00	00:30	360	N°6	210.00	4278.08	
0.45 - 15kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		07:54	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	07:54	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	10:54	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:24	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	11:54	00:30	240	N°2	180.00	229.18
	12:24	00:30	270	N°3	175.00	337.52
	12:54	00:30	300	N°4	180.00	724.33
	13:24	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
13:54	00:30	360	N°6	215.00	4379.94	
0.45 - 20kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		08:20	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:20	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:20	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:50	00:30	210	N°1	140.00	140.84
	12:05	00:15	225	N°1	200.00	201.20
	12:35	00:30	255	N°2	190.00	241.92
	13:05	00:30	285	N°3	180.00	347.16
	13:35	00:30	315	N°4	185.00	744.45
14:05	00:30	345	N°5	190.00	2477.21	
14:35	00:30	375	N°6	210.00	4278.08	

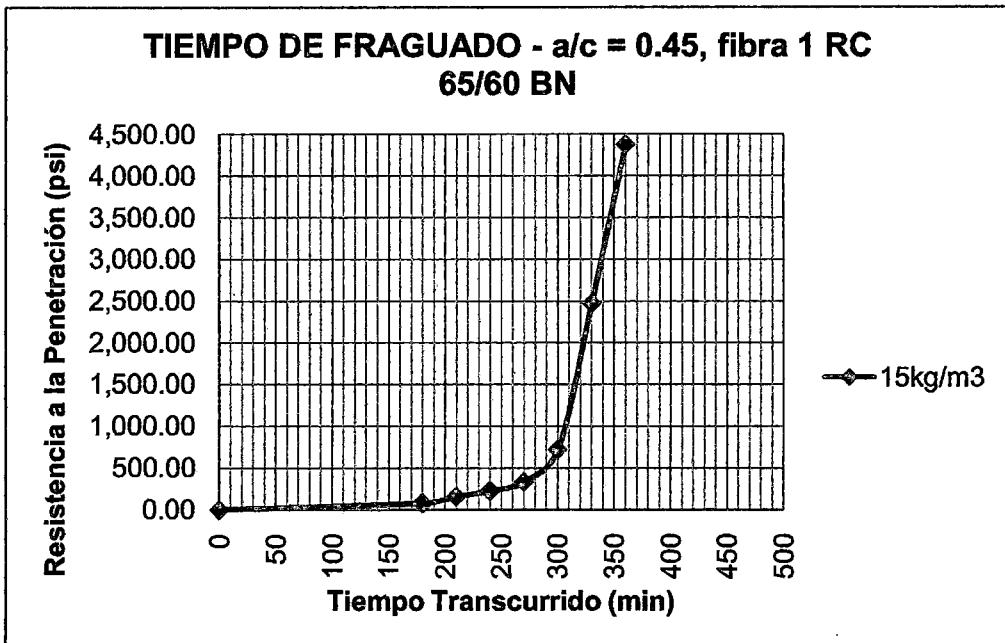
**FRAGUA  $a/c = 0.45$  – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 263min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 382min**

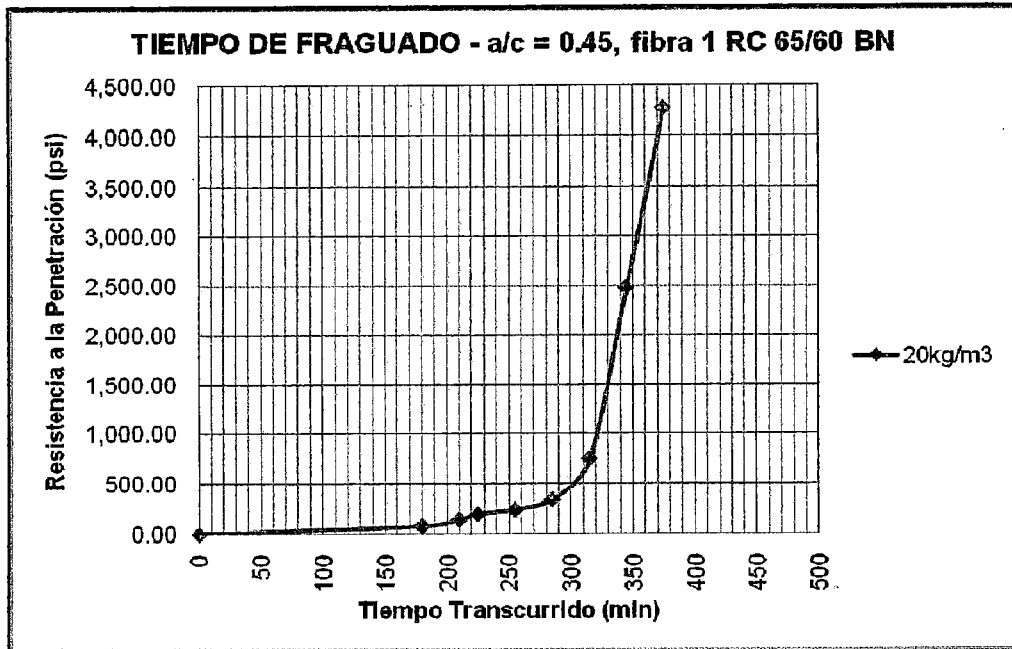
**FRAGUA  $a/c = 0.45$  – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 290min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 422min**

**FRAGUA a/c = 0.45 – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



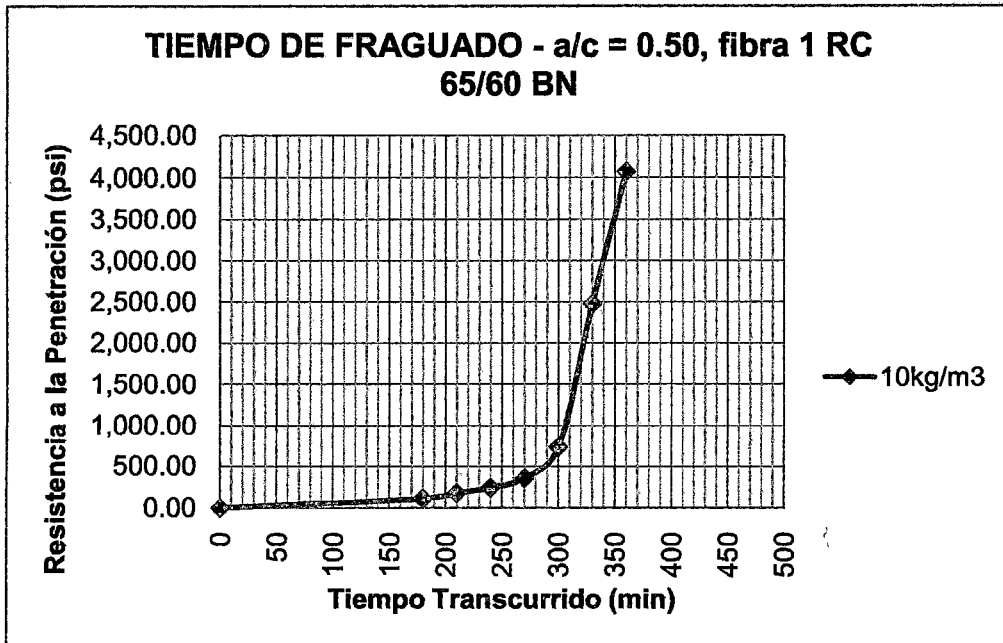
**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 272min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 405min**

Relación a/c = 0.50

Mezcla a/c	TIEMPO			agujas	PATRÓN	
	TRANSCURRIDO (min)				Fuerza	Resistencia
0.5 - 10kg/m3	Hora de Inicio		11:30	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	11:30	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	14:30	03:00	180	N°1	110.00	110.66
	15:00	00:30	210	N°1	175.00	176.05
	15:30	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	16:00	00:30	270	N°3	185.00	356.81
	16:30	00:30	300	N°4	180.00	724.33
	17:00	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
17:30	00:30	360	N°6	200.00	4074.37	
0.5 - 15kg/m3	Hora de Inicio		08:27	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:27	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:27	03:00	180	N°1	110.00	110.66
	11:57	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	12:27	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	12:57	00:30	270	N°3	200.00	385.74
	13:27	00:30	300	N°4	185.00	744.45
	13:57	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
14:27	00:30	360	N°6	220.00	4481.80	
0.5 - 20kg/m3	Hora de Inicio		08:00	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:00	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:00	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:30	00:30	210	N°1	150.00	150.90
	11:45	00:15	225	N°1	190.00	191.14
	12:15	00:30	255	N°2	185.00	235.55
	12:45	00:30	285	N°3	190.00	366.45
	13:15	00:30	315	N°4	200.00	804.81
13:45	00:30	345	N°5	210.00	2737.97	
14:15	00:30	375	N°6	230.00	4685.52	

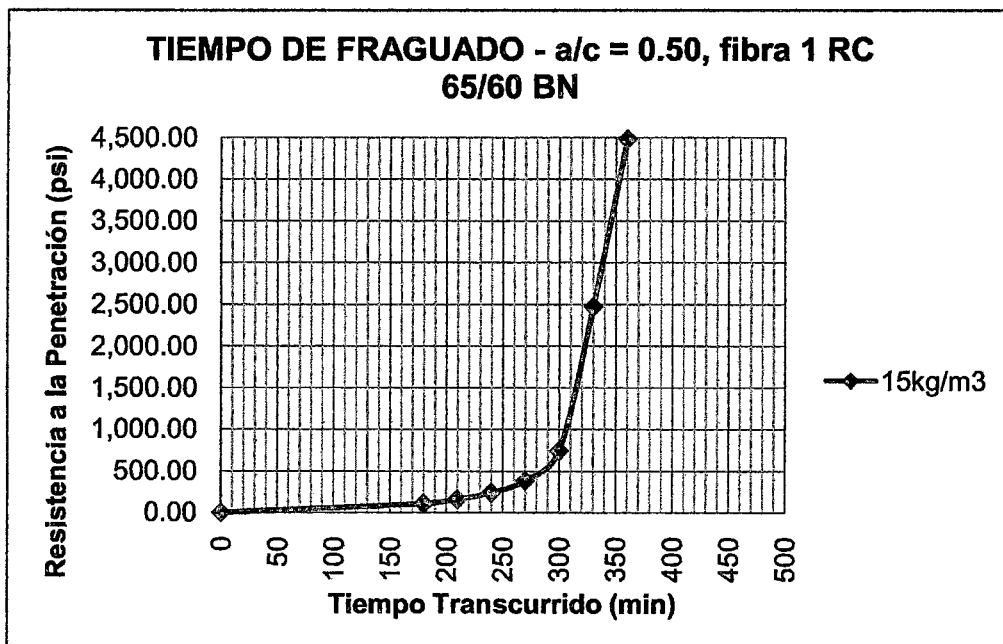
**FRAGUA  $a/c = 0.50$  – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 260min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 387min**

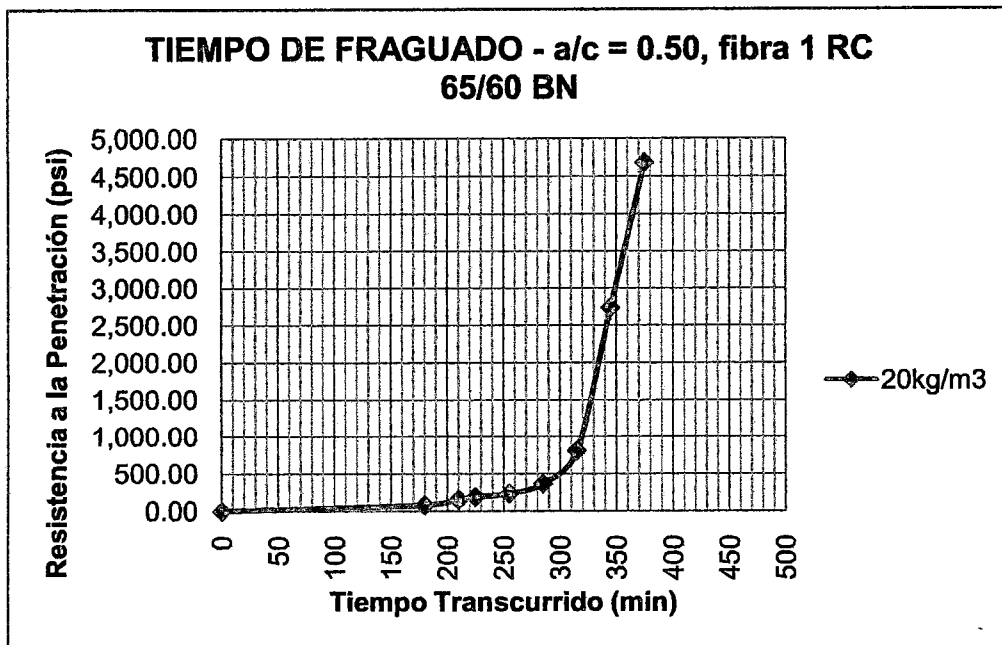
**FRAGUA  $a/c = 0.50$  – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 259min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 381min**

**FRAGUA a/c = 0.50 – Fibra metálica 1 – RC 65/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 270min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 397min**

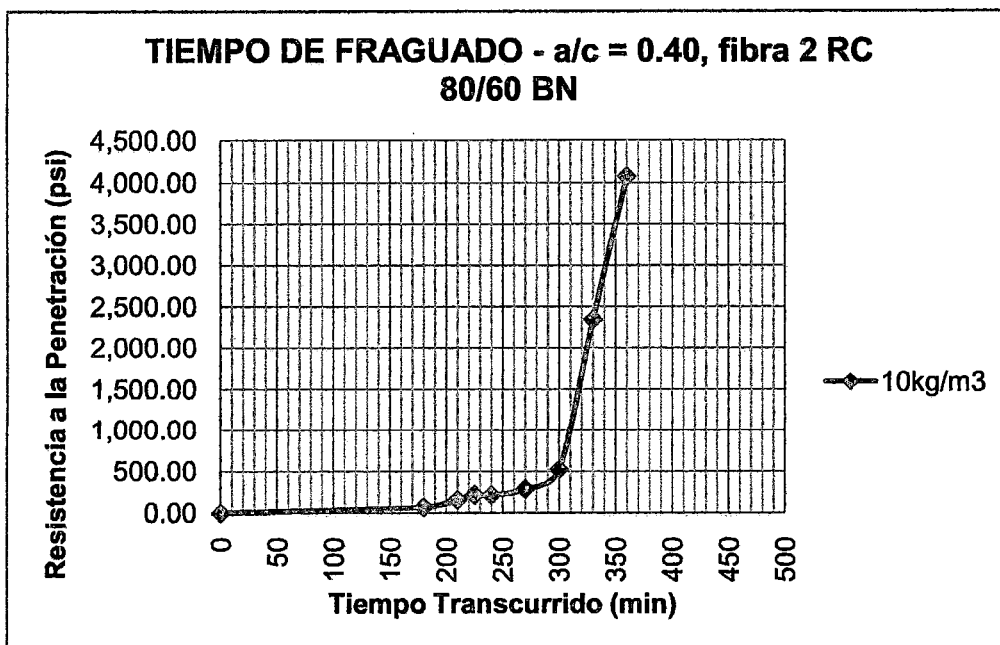


**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN**

**Relación a/c = 0.40**

Mezcla a/c	TRANSCURRIDO (min)			agujas	PATRÓN	
					Fuerza	Resistencia
0.4 - 10kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		10:12	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	10:12	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	13:12	03:00	180	N°1	70.00	70.42
	13:42	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	13:57	00:15	225	N°1	220.00	221.32
	14:12	00:15	240	N°2	170.00	216.45
	14:42	00:30	270	N°3	150.00	289.30
	15:12	00:30	300	N°4	130.00	523.13
	15:42	00:30	330	N°5	180.00	2346.84
16:12	00:30	360	N°6	200.00	4074.37	
0.4 - 15kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		09:10	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	09:10	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	12:10	03:00	180	N°1	85.00	85.51
	12:40	00:30	210	N°1	160.00	160.96
	13:10	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	13:40	00:30	270	N°3	170.00	327.88
	14:10	00:30	300	N°4	160.00	643.85
	14:40	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
	15:10	00:30	360	N°6	240.00	4889.24
0.4 - 20kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		08:30	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:30	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:30	03:00	180	N°1	70.00	70.42
	11:45	00:15	195	N°1	120.00	120.72
	12:00	00:15	210	N°1	155.00	155.93
	12:30	00:30	240	N°2	170.00	216.45
	13:00	00:30	270	N°3	190.00	366.45
	13:30	00:30	300	N°4	160.00	643.85
	14:00	00:30	330	N°5	190.00	2477.21
14:30	00:30	360	N°6	210.00	4278.08	

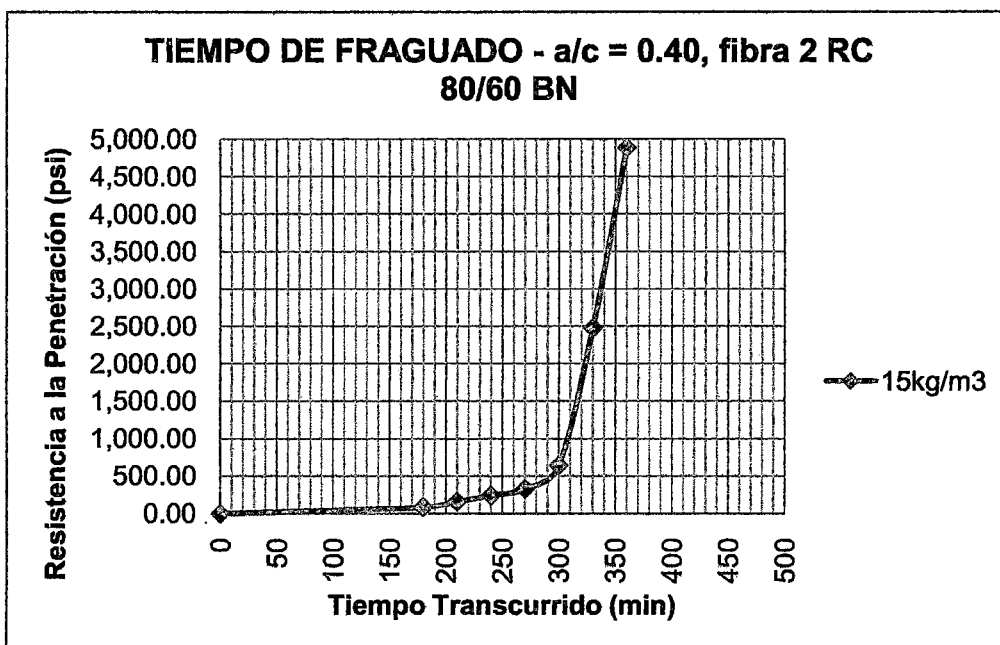
**FRAGUA a/c = 0.40 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 267min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 389min**

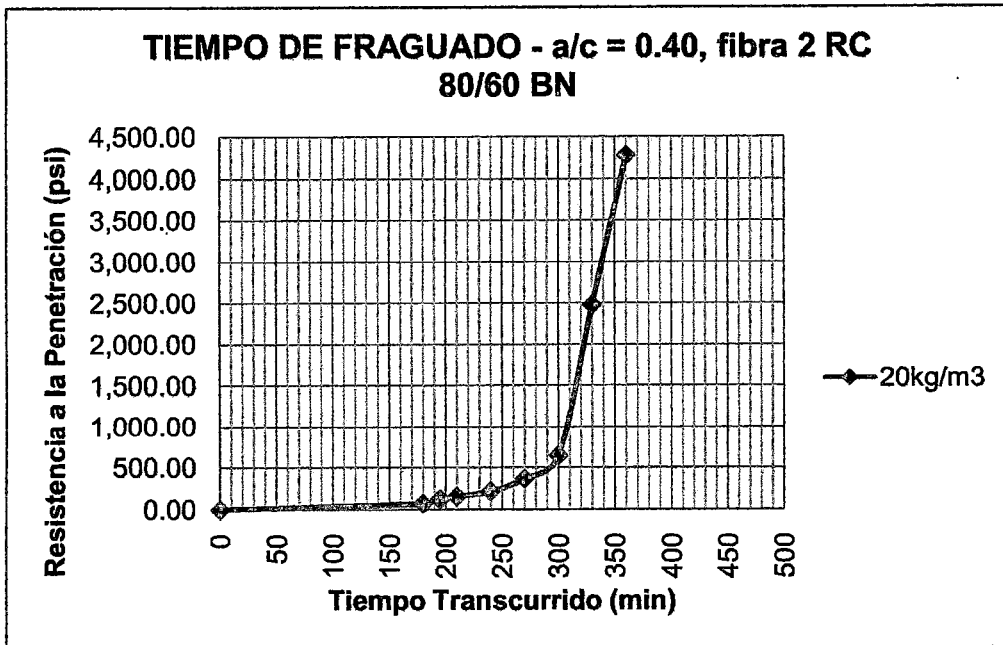
**FRAGUA a/c = 0.40 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 262min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 378min**

**FRAGUA a/c = 0.40 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



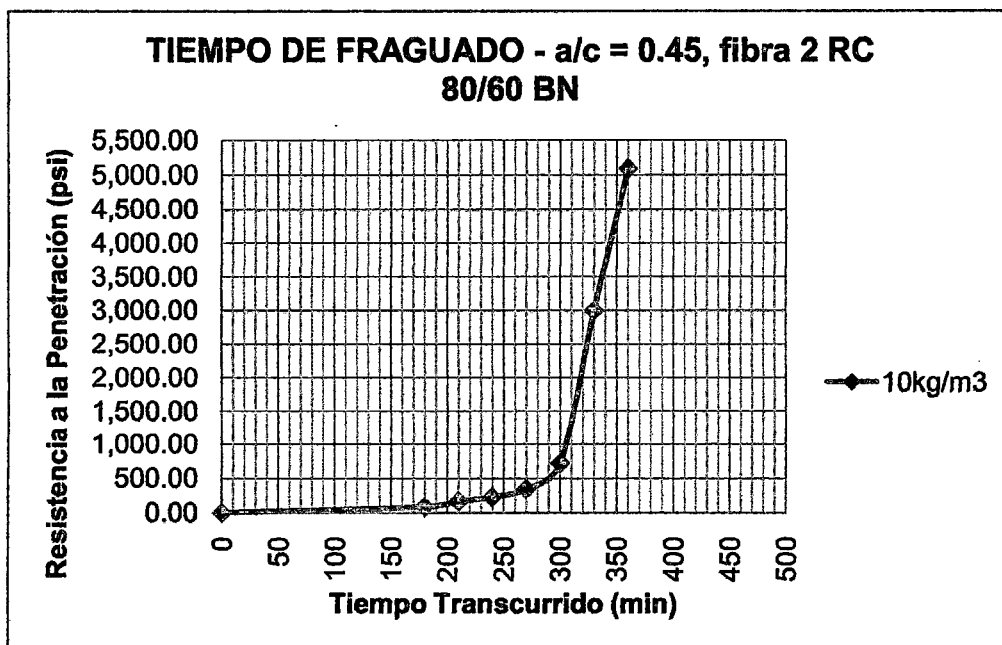
**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 263min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 382min**

Relación a/c = 0.45

Mezcla a/c	TIEMPO			agujas	PATRÓN	
	TRANSCURRIDO (min)				Fuerza	Resistencia
0.45 - 10kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		08:30	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:30	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:30	03:00	180	N°1	85.00	85.51
	12:00	00:30	210	N°1	165.00	165.99
	12:30	00:30	240	N°2	180.00	229.18
	13:00	00:30	270	N°3	180.00	347.16
	13:30	00:30	300	N°4	180.00	724.33
	14:00	00:30	330	N°5	230.00	2998.73
	14:30	00:30	360	N°6	250.00	5092.96
0.45 - 15kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		07:54	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	07:54	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	10:54	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:09	00:15	195	N°1	100.00	100.60
	11:24	00:15	210	N°1	155.00	155.93
	11:54	00:30	240	N°2	140.00	178.25
	12:24	00:30	270	N°3	140.00	270.02
	12:54	00:30	300	N°4	135.00	543.25
	13:24	00:30	330	N°5	145.00	1890.51
	13:54	00:30	360	N°6	115.00	2342.76
0.45 - 20kg/m <sup>3</sup>	Hora de Inicio		08:20	#	Lb	lb / pulg <sup>2</sup>
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:20	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:20	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:50	00:30	210	N°1	140.00	140.84
	12:20	00:30	240	N°1	240.00	241.44
	12:50	00:30	270	N°2	180.00	229.18
	13:20	00:30	300	N°3	170.00	327.88
	13:50	00:30	330	N°4	145.00	583.49
	14:20	00:30	360	N°5	250.00	3259.49
	14:50	00:30	390	N°6	285.00	5805.97

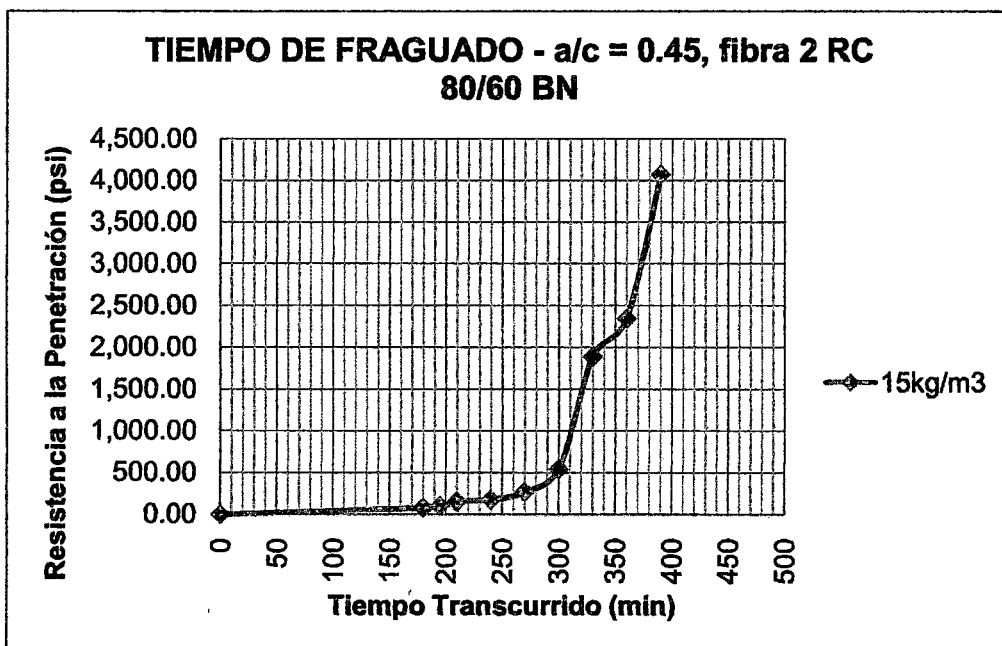
**FRAGUA a/c = 0.45 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 259min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 371min**

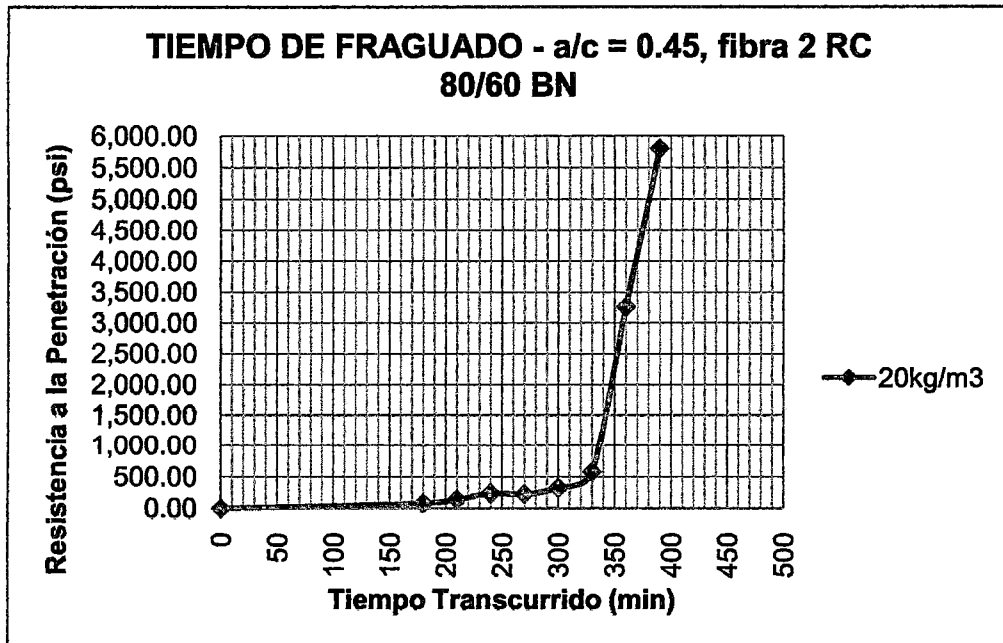
**FRAGUA a/c = 0.45 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 273min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 409min**

**FRAGUA a/c = 0.45 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



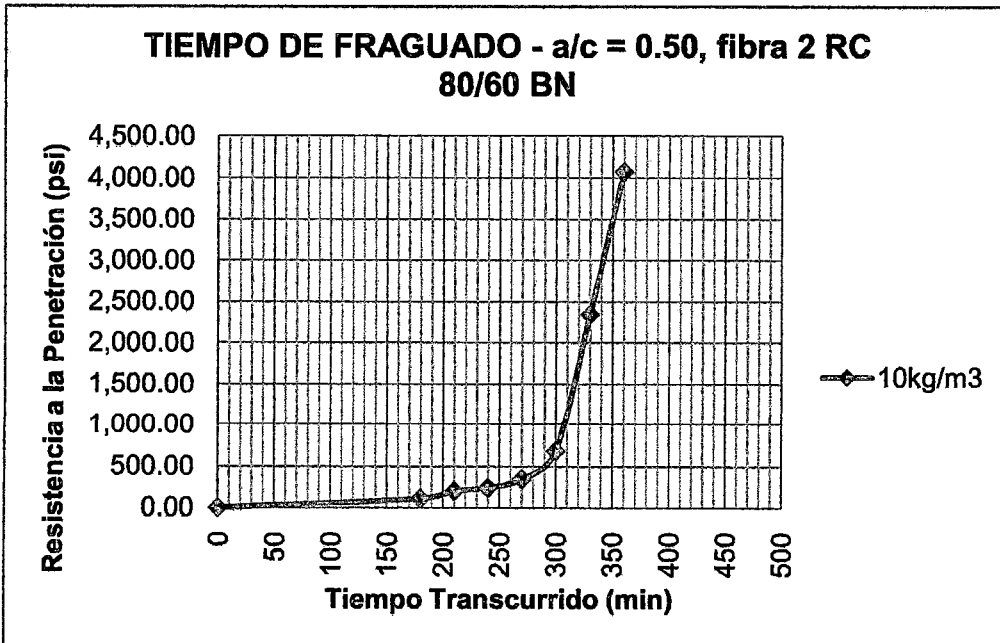
**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 271min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 394min**

**Relación a/c = 0.50**

Mezcla a/c	TIEMPO			agujas	PATRÓN	
	TRANSCURRIDO (min)				Fuerza	Resistencia
0.5 - 10kg/m3	Hora de Inicio		11:30	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	11:30	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	14:30	03:00	180	N°1	110.00	110.66
	15:00	00:30	210	N°1	200.00	201.20
	15:30	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	16:00	00:30	270	N°3	180.00	347.16
	16:30	00:30	300	N°4	170.00	684.09
	17:00	00:30	330	N°5	180.00	2346.84
17:30	00:30	360	N°6	200.00	4074.37	
0.5 - 15kg/m3	Hora de Inicio		08:27	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:27	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:27	03:00	180	N°1	110.00	110.66
	11:57	00:30	210	N°1	150.00	150.90
	12:27	00:30	240	N°2	190.00	241.92
	12:57	00:30	270	N°3	210.00	405.03
	13:27	00:30	300	N°4	170.00	684.09
	13:57	00:30	330	N°5	160.00	2086.08
14:27	00:30	360	N°6	210.00	4278.08	
0.5 - 20kg/m3	Hora de Inicio		08:00	#	Lb	lb / pulg2
	Hora de Ensayo	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado			
	08:00	00:00	0	N°1	0.00	0.00
	11:00	03:00	180	N°1	80.00	80.48
	11:30	00:30	210	N°1	145.00	145.87
	11:45	00:15	225	N°1	180.00	181.08
	12:15	00:30	255	N°2	200.00	254.65
	12:45	00:30	285	N°3	190.00	366.45
	13:15	00:30	315	N°4	180.00	724.33
13:45	00:30	345	N°5	190.00	2477.21	
14:15	00:30	375	N°6	210.00	4278.08	

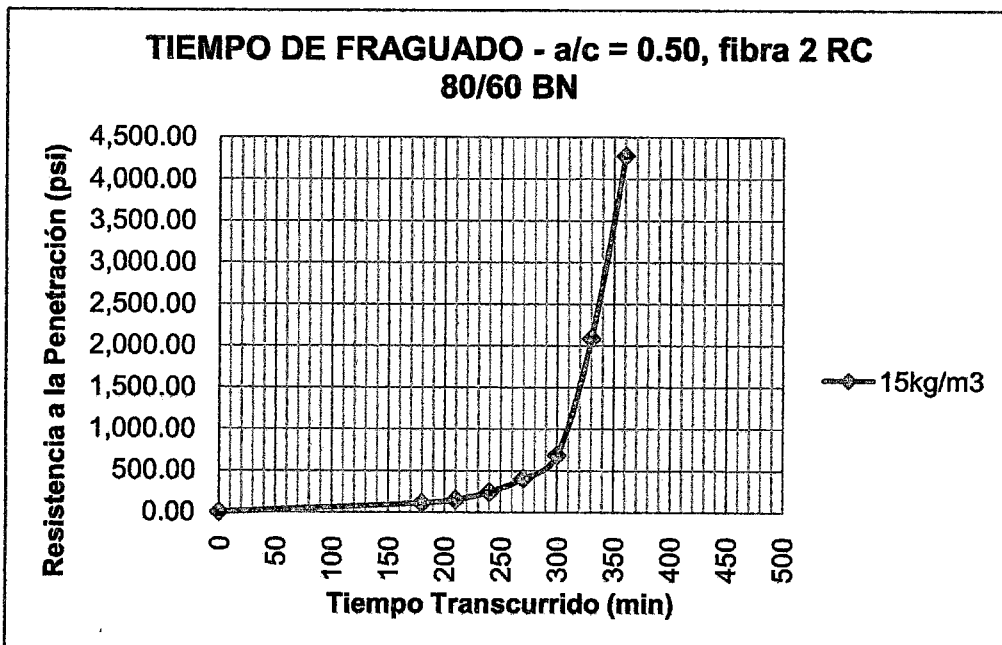
**FRAGUA a/c = 0.50 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 10kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 260min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 396min**

**FRAGUA a/c = 0.50 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 15kg/m<sup>3</sup>**

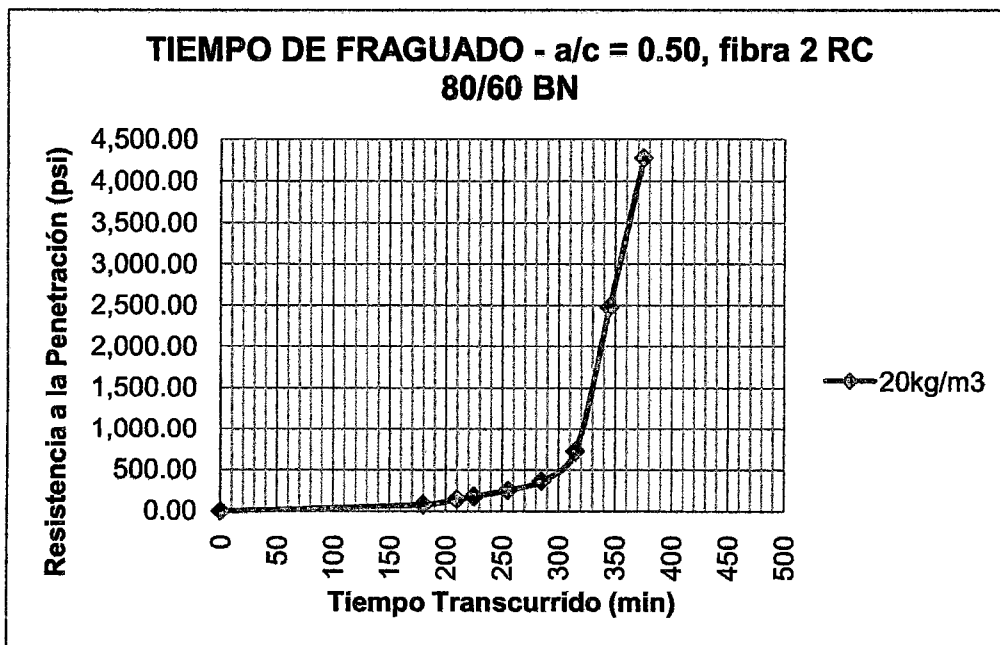


**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 261min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 389min**



**FRAGUA a/c = 0.50 – Fibra metálica 2 – RC 80/60 BN – 20kg/m<sup>3</sup>**



**TIEMPO DE FRAGUA INICIAL: (RP = 500psi); t = 272min**

**TIEMPO DE FRAGUA FINAL: (RP = 4000psi); t = 404min**

# **ANEXO D**

**ENSAYO DE CONCRETO ENDURECIDO**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Concreto patrón

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	14.90	56800.00	174.37	325.75	329.23
		M2	14.90	58500.00	174.37	335.50	
		M3	14.95	57300.00	175.54	326.42	
	14	M4	14.95	60400.00	175.54	344.08	357.76
		M5	14.95	64200.00	175.54	365.73	
		M6	14.95	63800.00	175.54	363.45	
	28	M7	15.10	68200.00	179.08	380.84	382.66
		M8	15.00	68000.00	176.71	384.80	
		M9	14.95	67400.00	175.54	383.96	
		M10	14.90	65900.00	174.37	377.94	
		M11	14.90	66800.00	174.37	383.10	
		M12	14.95	67200.00	175.54	382.82	
		M13	14.95	69200.00	175.54	394.22	
		M14	15.00	67000.00	176.71	379.14	
	42	M1	14.80	73000.00	172.03	424.34	421.58
M2		15.20	76000.00	181.46	418.83		
<b>a/c = 0.45</b>	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	15.00	59800.00	176.71	338.40	321.40
		M2	14.90	54400.00	174.37	311.99	
		M3	15.10	56200.00	179.08	313.83	
	14	M4	15.00	59000.00	176.71	333.87	338.02
		M5	14.95	61000.00	175.54	347.50	
		M6	14.95	58400.00	175.54	332.69	
	28	M7	14.95	64400.00	175.54	366.87	366.25
		M8	15.15	65400.00	180.27	362.80	
		M9	15.10	65400.00	179.08	365.20	
		M10	14.95	63400.00	175.54	361.17	
		M11	14.90	64300.00	174.37	368.76	
		M12	14.90	64600.00	174.37	370.48	
		M13	14.95	64400.00	175.54	366.87	
M14		14.90	64000.00	174.37	367.04		
42	M1	14.95	70000.00	175.54	398.77	398.39	
	M2	14.90	69400.00	174.37	398.01		

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
<b>a/c = 0.50</b>	7	M1	14.85	52200.00	173.20	301.39	300.22
		M2	14.90	52000.00	174.37	298.22	
		M3	15.00	53200.00	176.71	301.05	
	14	M4	14.85	53600.00	173.20	309.47	310.83
		M5	14.90	54000.00	174.37	309.69	
		M6	14.95	55000.00	175.54	313.32	
	28	M7	14.90	58000.00	174.37	332.63	334.90
		M8	14.95	55900.00	175.54	318.45	
		M9	14.95	56800.00	175.54	323.58	
		M10	15.00	58900.00	176.71	333.31	
		M11	14.80	58700.00	172.03	341.21	
		M12	14.95	61800.00	175.54	352.06	
		M13	15.00	59800.00	176.71	338.40	
		M14	14.95	58200.00	175.54	331.55	
	42	M15	14.90	59800.00	174.37	342.96	375.65
M1		14.90	66000.00	174.37	378.51		
		M2	14.90	65000.00	174.37	372.78	

**Concreto con fibras**

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (10kg/m3)**

	días	PROBETA	cm	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
				kg	cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	14.90	60500.00	174.37	346.97	333.59
		M2	14.90	56000.00	174.37	321.16	
		M3	14.90	58000.00	174.37	332.63	
	14	M4	14.90	64800.00	174.37	371.63	367.61
		M5	15.10	64700.00	179.08	361.29	
		M6	14.90	64500.00	174.37	369.91	
	28	M7	14.90	69000.00	174.37	395.72	387.54
		M8	15.00	68200.00	176.71	385.93	
		M9	14.80	67800.00	172.03	394.11	
		M10	15.00	68200.00	176.71	385.93	
		M11	15.00	68000.00	176.71	384.80	
		M12	15.00	67100.00	176.71	379.71	
		M13	14.90	68500.00	174.37	392.85	
	42	M14	14.90	66000.00	174.37	378.51	414.07
		M15	14.85	67600.00	173.20	390.30	
<b>a/c = 0.45</b>	7	M1	14.90	57000.00	174.37	326.90	324.49
		M2	14.95	56300.00	175.54	320.73	
	M3	14.95	57200.00	175.54	325.85		
	14	M4	14.85	58600.00	173.20	338.34	335.91
		M5	14.90	58300.00	174.37	334.35	
		M6	15.10	60000.00	179.08	335.05	
	28	M7	14.80	64600.00	172.03	375.51	365.88
		M8	14.90	63200.00	174.37	362.46	
		M9	14.90	66500.00	174.37	381.38	
		M10	14.85	62200.00	173.20	359.13	
		M11	14.95	62200.00	175.54	354.34	
		M12	14.95	63600.00	175.54	362.31	
		M13	14.90	66000.00	174.37	378.51	
	42	M14	14.85	62400.00	173.20	360.28	400.02
		M15	14.90	62600.00	174.37	359.01	
M2		14.90	68100.00	174.37	390.56		
		M2	14.90	71400.00	174.37	409.48	
		M2	14.90	64000.00	174.37	367.04	

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.80	50200.00	172.03	291.80	296.64
		M2	14.95	52400.00	175.54	298.51	
		M3	15.05	53300.00	177.89	299.62	
	14	M4	14.85	54600.00	173.20	315.25	319.43
		M5	14.75	55000.00	170.87	321.88	
		M6	14.90	56000.00	174.37	321.16	
	28	M7	14.95	59800.00	175.54	340.67	346.26
		M8	14.90	60500.00	174.37	346.97	
		M9	14.90	59900.00	174.37	343.53	
M10		14.90	61200.00	174.37	350.99		
M11		14.80	61400.00	172.03	356.91		
M12		15.05	60300.00	177.89	338.96		
M13		14.90	60000.00	174.37	344.10		
M14		14.80	61400.00	172.03	356.91		
42	M15	15.15	60800.00	180.27	337.28	372.78	
	M1	14.90	66000.00	174.37	378.51		
	M2	14.90	64000.00	174.37	367.04		

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (15kg/m3)**

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	14.90	60000.00	174.37	344.10	337.65
		M2	15.00	58200.00	176.71	329.34	
		M3	14.85	58800.00	173.20	339.50	
	14	M4	14.90	61300.00	174.37	351.56	361.96
		M5	14.95	63900.00	175.54	364.02	
		M6	14.95	65000.00	175.54	370.29	
	28	M7	14.95	64700.00	175.54	368.58	386.47
		M8	15.00	68900.00	176.71	389.89	
		M9	15.00	67300.00	176.71	380.84	
		M10	15.10	67700.00	179.08	378.05	
		M11	14.85	65000.00	173.20	375.29	
		M12	15.00	66800.00	176.71	378.01	
		M13	14.95	65000.00	175.54	370.29	
	42	M1	15.00	74200.00	176.71	419.89	422.70
		M2	15.10	76200.00	179.08	425.51	
<b>a/c = 0.45</b>	7	M1	15.10	57200.00	179.08	319.41	321.26
		M2	14.90	57000.00	174.37	326.90	
		M3	15.00	56100.00	176.71	317.46	
	14	M4	14.85	59000.00	173.20	340.65	339.55
		M5	14.90	59800.00	174.37	342.96	
		M6	15.10	60000.00	179.08	335.05	
	28	M7	14.80	64300.00	172.03	373.76	366.14
		M8	14.90	62400.00	174.37	357.87	
		M9	14.90	66200.00	174.37	379.66	
		M10	14.85	64000.00	173.20	369.52	
		M11	14.95	63000.00	175.54	358.90	
		M12	14.95	62300.00	175.54	354.91	
		M13	14.90	65700.00	174.37	376.79	
	42	M1	14.90	67600.00	174.37	387.69	397.15
		M2	14.90	70900.00	174.37	406.62	

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.90	52000.00	174.37	298.22	300.91
		M2	14.85	52700.00	173.20	304.28	
		M3	14.95	52700.00	175.54	300.22	
	14	M4	14.85	54000.00	173.20	311.78	314.26
		M5	14.90	54200.00	174.37	310.84	
		M6	14.95	56200.00	175.54	320.16	
	28	M7	14.90	60600.00	174.37	347.54	344.10
		M8	14.90	59800.00	174.37	342.96	
		M9	14.90	60000.00	174.37	344.10	
		M10	15.00	61200.00	176.71	346.32	
		M11	14.85	59900.00	173.20	345.85	
		M12	15.00	62000.00	176.71	350.85	
		M13	15.05	61000.00	177.89	342.90	
		M14	14.85	59700.00	173.20	344.69	
42	M15	15.05	59000.00	177.89	331.66	386.26	
	M1	14.90	67400.00	174.37	386.54		



**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (20kg/m3)**

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	15.10	58000.00	179.08	323.88	335.83
		M2	14.85	59400.00	173.20	342.96	
		M3	14.85	59000.00	173.20	340.65	
	14	M4	14.95	64800.00	175.54	369.15	370.65
		M5	15.00	66400.00	176.71	375.75	
		M6	14.90	64000.00	174.37	367.04	
	28	M7	14.95	66000.00	175.54	375.99	385.52
		M8	14.80	60500.00	172.03	351.68	
		M9	14.90	62000.00	174.37	355.57	
		M10	14.75	63900.00	170.87	373.96	
		M11	14.80	64000.00	172.03	372.02	
		M12	15.05	71000.00	177.89	399.11	
		M13	14.95	71600.00	175.54	407.89	
	42	M1	15.00	74600.00	176.71	422.15	425.57
		M2	14.85	74300.00	173.20	428.99	
<b>a/c = 0.45</b>	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm2	RESISTENCIA kg/cm2	PROMEDIO kg/cm2
	7	M1	14.90	57600.00	174.37	330.34	324.39
		M2	14.85	56400.00	173.20	325.64	
		M3	15.10	56800.00	179.08	317.18	
	14	M4	14.85	60000.00	173.20	346.42	343.17
		M5	15.00	59800.00	176.71	338.40	
		M6	14.90	60100.00	174.37	344.68	
	28	M7	14.90	64600.00	174.37	370.48	369.01
		M8	14.80	63000.00	172.03	366.21	
		M9	14.90	62600.00	174.37	359.01	
		M10	14.80	63300.00	172.03	367.95	
		M11	14.90	67000.00	174.37	384.25	
		M12	14.90	64200.00	174.37	368.19	
		M13	15.10	64000.00	179.08	357.38	
	42	M1	14.90	75200.00	174.37	431.28	413.27
M2		14.80	68000.00	172.03	395.27		
M2		14.90	65500.00	174.37	375.65		

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.85	52700.00	173.20	304.28	306.50
		M2	14.80	53700.00	172.03	312.15	
		M3	14.95	53200.00	175.54	303.07	
	14	M4	14.95	56600.00	175.54	322.44	322.60
		M5	14.80	55800.00	172.03	324.36	
		M6	14.85	55600.00	173.20	321.02	
	28	M7	14.85	59900.00	173.20	345.85	342.87
		M8	14.80	59800.00	172.03	347.61	
		M9	14.80	60000.00	172.03	348.77	
		M10	14.90	60100.00	174.37	344.68	
		M11	14.95	58900.00	175.54	335.54	
		M12	15.10	58900.00	179.08	328.91	
		M13	15.00	60000.00	176.71	339.53	
		M14	14.90	61200.00	174.37	350.99	
42	M15	15.10	61600.00	179.08	343.98	381.39	
	M1	14.80	66600.00	172.03	387.13		

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (10kg/m3)**

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	15.00	59200.00	176.71	335.00	335.02
		M2	15.10	59500.00	179.08	332.26	
		M3	14.90	58900.00	174.37	337.79	
	14	M4	14.85	61000.00	173.20	352.20	363.36
		M5	14.80	62200.00	172.03	361.56	
		M6	15.00	66500.00	176.71	376.31	
	28	M7	14.95	69000.00	175.54	393.08	396.33
		M8	14.85	70800.00	173.20	408.78	
		M9	15.00	70000.00	176.71	396.12	
		M10	14.95	69300.00	175.54	394.79	
		M11	14.90	71400.00	174.37	409.48	
		M12	14.85	63000.00	173.20	363.75	
		M13	14.95	71800.00	175.54	409.03	
	42	M14	15.00	68400.00	176.71	387.06	426.60
		M15	14.90	70600.00	174.37	404.89	
<b>a/c = 0.45</b>	7	M1	14.80	56300.00	172.03	327.26	326.84
		M2	14.95	56900.00	175.54	324.15	
		M3	14.85	57000.00	173.20	329.10	
	14	M4	15.00	59800.00	176.71	338.40	340.37
		M5	15.10	59800.00	179.08	333.93	
		M6	14.80	60000.00	172.03	348.77	
	28	M7	15.00	62600.00	176.71	354.24	369.10
		M8	14.85	64300.00	173.20	371.25	
		M9	14.90	63800.00	174.37	365.90	
		M10	15.05	63800.00	177.89	358.64	
		M11	14.80	66200.00	172.03	384.81	
		M12	14.85	63400.00	173.20	366.06	
		M13	15.00	64300.00	176.71	363.86	
	42	M14	14.80	64900.00	172.03	377.25	399.76
		M15	14.85	65800.00	173.20	379.91	
M2		14.95	65500.00	175.54	373.14		

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.90	55100.00	174.37	316.00	308.28
		M2	14.95	52700.00	175.54	300.22	
		M3	15.05	54900.00	177.89	308.61	
	14	M4	14.90	54900.00	174.37	314.85	317.46
		M5	14.95	56300.00	175.54	320.73	
		M6	14.80	54500.00	172.03	316.80	
	28	M7	14.80	60700.00	172.03	352.84	347.70
		M8	14.95	61600.00	175.54	350.92	
		M9	14.80	60000.00	172.03	348.77	
		M10	14.90	63000.00	174.37	361.31	
		M11	14.90	59800.00	174.37	342.96	
		M12	15.10	59400.00	179.08	331.70	
		M13	14.90	60100.00	174.37	344.68	
	42	M14	14.85	60000.00	173.20	346.42	371.57
M15		15.00	61800.00	176.71	349.72		
42	M1	15.15	66700.00	180.27	370.01	371.57	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (15kg/m3)**

	días	PROBETA	Ø	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	PROMEDIO
			cm	kg	cm2	kg/cm2	kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	14.95	60200.00	175.54	342.94	337.84
		M2	15.00	58300.00	176.71	329.91	
		M3	14.90	59400.00	174.37	340.66	
	14	M4	14.80	62000.00	172.03	360.39	370.32
		M5	15.15	69200.00	180.27	383.88	
		M6	15.00	64800.00	176.71	366.69	
	28	M7	14.80	67600.00	172.03	392.95	389.27
		M8	14.95	69700.00	175.54	397.06	
		M9	14.95	70000.00	175.54	398.77	
		M10	15.00	64000.00	176.71	362.17	
		M11	14.90	70600.00	174.37	404.89	
		M12	14.90	62200.00	174.37	356.72	
		M13	14.80	65000.00	172.03	377.83	
	42	M14	14.95	72000.00	175.54	410.17	424.14
		M15	15.00	71200.00	176.71	402.91	
<b>a/c = 0.45</b>	7	M1	15.00	57100.00	176.71	323.12	324.00
		M2	14.90	56900.00	174.37	326.32	
		M3	15.00	57000.00	176.71	322.55	
	14	M4	14.95	60800.00	175.54	346.36	343.90
		M5	14.95	59800.00	175.54	340.67	
		M6	14.90	60100.00	174.37	344.68	
	28	M7	15.00	64800.00	176.71	366.69	369.13
		M8	14.90	63300.00	174.37	363.03	
		M9	15.00	64200.00	176.71	363.30	
		M10	14.95	69200.00	175.54	394.22	
		M11	14.85	64300.00	173.20	371.25	
		M12	14.95	62300.00	175.54	354.91	
		M13	14.90	64200.00	174.37	368.19	
	42	M14	14.85	65300.00	173.20	377.03	413.40
		M1	14.85	71100.00	173.20	410.51	
M2		14.85	72100.00	173.20	416.29		
		M2	14.85	66400.00	173.20	383.38	

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.90	51000.00	174.37	292.49	304.49
		M2	15.00	54300.00	176.71	307.28	
		M3	14.90	54700.00	174.37	313.71	
	14	M4	15.00	57600.00	176.71	325.95	329.87
		M5	14.90	58000.00	174.37	332.63	
		M6	15.00	58500.00	176.71	331.04	
	28	M7	14.85	61700.00	173.20	356.24	345.55
		M8	14.85	63000.00	173.20	363.75	
		M9	14.95	59000.00	175.54	336.11	
M10		14.95	59700.00	175.54	340.10		
M11		14.90	60000.00	174.37	344.10		
M12		14.80	60100.00	172.03	349.35		
M13		14.90	60000.00	174.37	344.10		
M14		14.95	59100.00	175.54	336.68		
42	M15	14.90	59200.00	174.37	339.52	380.15	
	M1	15.10	67500.00	179.08	376.93		
	M2	14.85	66400.00	173.20	383.38		

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (20kg/m3)**

	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm2	RESISTENCIA kg/cm2	PROMEDIO kg/cm2
<b>a/c = 0.40</b>	7	M1	14.95	58600.00	175.54	333.83	337.24
		M2	14.90	59000.00	174.37	338.37	
		M3	15.00	60000.00	176.71	339.53	
	14	M4	15.10	69200.00	179.08	386.42	381.19
		M5	15.00	70000.00	176.71	396.12	
		M6	15.00	63800.00	176.71	361.03	
	28	M7	14.90	68200.00	174.37	391.13	397.86
		M8	14.90	67500.00	174.37	387.12	
		M9	14.90	71000.00	174.37	407.19	
		M10	14.80	68700.00	172.03	399.34	
		M11	15.00	72000.00	176.71	407.44	
		M12	15.00	73600.00	176.71	416.49	
		M13	14.90	69300.00	174.37	397.44	
		M14	15.00	70600.00	176.71	399.51	
	42	M1	14.75	74400.00	170.87	435.41	436.21
M2		14.90	76200.00	174.37	437.01		
<b>a/c = 0.45</b>	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm2	RESISTENCIA kg/cm2	PROMEDIO kg/cm2
	7	M1	15.00	58300.00	176.71	329.91	326.86
		M2	14.95	57300.00	175.54	326.42	
		M3	15.00	57300.00	176.71	324.25	
	14	M4	14.85	60000.00	173.20	346.42	343.54
		M5	15.00	60200.00	176.71	340.66	
		M6	14.90	59900.00	174.37	343.53	
	28	M7	14.90	62400.00	174.37	357.87	363.70
		M8	14.90	62600.00	174.37	359.01	
		M9	14.90	63000.00	174.37	361.31	
		M10	14.90	64000.00	174.37	367.04	
		M11	14.85	64300.00	173.20	371.25	
		M12	15.00	64500.00	176.71	365.00	
		M13	14.90	63600.00	174.37	364.75	
		M14	14.95	62500.00	175.54	356.05	
42	M1	14.85	74100.00	173.20	427.83	414.55	
	M2	14.85	69500.00	173.20	401.27		
	M2	14.90	69000.00	174.37	395.72		

a/c = 0.50	días	PROBETA	Ø cm	CARGA kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	PROMEDIO kg/cm <sup>2</sup>
	7	M1	14.90	53200.00	174.37	305.10	305.42
		M2	14.85	53300.00	173.20	307.74	
		M3	14.80	52200.00	172.03	303.43	
	14	M4	14.90	54700.00	174.37	313.71	326.28
		M5	14.85	57600.00	173.20	332.57	
		M6	14.85	57600.00	173.20	332.57	
	28	M7	14.80	63000.00	172.03	366.21	346.29
		M8	14.80	59000.00	172.03	342.96	
		M9	14.90	59300.00	174.37	340.09	
M10		14.95	61200.00	175.54	348.64		
M11		14.70	60900.00	169.72	358.83		
M12		15.05	60000.00	177.89	337.28		
M13		15.00	59800.00	176.71	338.40		
M14		14.80	59300.00	172.03	344.70		
42	M1	14.95	66000.00	175.54	375.99	385.85	
	M2	14.90	69000.00	174.37	395.72		



## RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

### Concreto patrón

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PROMEDIO kg/cm<sup>2</sup></b>
	M1	14.90	26600.00	30.15	37.70	33.46
	M2	14.95	24700.00	31.10	33.82	
	M3	14.90	22500.00	31.50	30.52	
	M4	14.95	24000.00	30.90	33.07	
	M5	15.00	23700.00	31.10	32.34	
	M6	14.90	24000.00	30.80	33.29	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PROMEDIO kg/cm<sup>2</sup></b>
	M1	14.90	22000.00	30.50	30.82	31.68
	M2	14.90	22900.00	30.60	31.97	
	M3	14.95	23000.00	31.60	30.99	
	M4	14.90	23600.00	30.40	33.17	
	M5	14.95	23500.00	30.70	32.60	
	M6	15.00	21800.00	30.30	30.54	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>PROMEDIO kg/cm<sup>2</sup></b>
	M1	14.90	21000.00	30.50	29.42	24.02
	M2	14.95	20300.00	30.30	28.53	
	M3	14.90	19500.00	30.50	27.32	
	M4	14.95	19800.00	30.50	27.64	
	M5	14.95	2000.00	30.90	2.76	
	M6	14.95	20200.00	30.20	28.48	

**Concreto con fibras**

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (10kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	15.15	28400.00	30.50	39.13	
	M2	14.75	24500.00	30.15	35.07	
	M3	14.90	26000.00	30.20	36.78	
	M4	14.90	23600.00	30.75	32.79	
	M5	14.95	23500.00	30.75	32.54	
	M6	14.90	24000.00	30.15	34.01	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	14.85	22700.00	30.05	32.38	
	M2	14.90	22300.00	30.05	31.71	
	M3	14.80	22800.00	30.00	32.69	
	M4	14.80	24400.00	30.05	34.93	
	M5	15.00	24000.00	30.45	33.45	
	M6	15.05	23600.00	30.10	33.17	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	15.00	20000.00	30.10	28.20	
	M2	15.00	19900.00	30.00	28.15	
	M3	14.80	20500.00	29.90	29.49	
	M4	15.00	20600.00	30.10	29.05	
	M5	14.85	20500.00	30.00	29.29	
	M6	14.80	21000.00	29.90	30.21	

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (15kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.95	24100.00	30.15	34.04	34.05
	M2	15.00	24400.00	30.10	34.40	
	M3	15.10	25200.00	30.55	34.78	
	M4	14.95	24000.00	30.25	33.79	
	M5	14.90	23400.00	30.15	33.16	
	M6	15.00	24400.00	30.35	34.12	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.80	24400.00	30.00	34.99	33.98
	M2	14.85	23600.00	30.00	33.72	
	M3	15.05	24000.00	29.80	34.07	
	M4	14.85	23300.00	30.05	33.24	
	M5	15.15	24500.00	30.50	33.75	
	M6	14.90	24100.00	30.20	34.10	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	15.05	19200.00	29.80	27.25	29.98
	M2	14.90	20600.00	29.90	29.44	
	M3	15.05	22800.00	30.45	31.67	
	M4	14.85	21200.00	29.85	30.45	
	M5	14.80	22000.00	30.40	31.13	
	M6	14.85	21000.00	30.05	29.96	

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (20kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.95	27000.00	30.10	38.20	37.26
	M2	15.15	24000.00	30.55	33.01	
	M3	14.90	26200.00	30.50	36.70	
	M4	14.90	27700.00	30.55	38.74	
	M5	14.90	27000.00	30.35	38.01	
	M6	14.85	27400.00	30.20	38.90	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.75	23200.00	30.15	33.21	33.53
	M2	14.80	24100.00	30.50	33.99	
	M3	14.85	24100.00	30.55	33.82	
	M4	15.00	23500.00	30.25	32.97	
	M5	14.95	24000.00	30.10	33.95	
	M6	14.80	23300.00	30.15	33.24	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.80	22000.00	29.85	31.70	31.80
	M2	14.75	22500.00	29.85	32.53	
	M3	14.95	23000.00	29.90	32.76	
	M4	14.80	22500.00	30.10	32.15	
	M5	14.90	22200.00	30.25	31.36	
	M6	14.95	21400.00	30.10	30.28	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (10kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	14.90	25000.00	30.20	35.37	34.13
	M2	14.95	24400.00	30.35	34.23	
	M3	14.95	22900.00	30.25	32.24	
	M4	14.95	23400.00	30.30	32.89	
	M5	14.95	24100.00	30.40	33.76	
	M6	15.10	26400.00	30.65	36.31	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	14.90	24300.00	30.30	34.27	33.64
	M2	15.10	23700.00	30.10	33.20	
	M3	14.95	23700.00	30.20	33.42	
	M4	14.95	23900.00	30.10	33.81	
	M5	14.95	23400.00	30.35	32.83	
	M6	14.95	24500.00	30.40	34.32	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	15.15	23000.00	30.35	31.84	30.40
	M2	14.90	23200.00	30.30	32.71	
	M3	14.95	21300.00	30.35	29.89	
	M4	15.00	22500.00	30.80	31.00	
	M5	14.95	20600.00	30.00	29.24	
	M6	15.10	20000.00	30.40	27.74	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (15kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	14.90	26100.00	30.40	36.68	35.69
	M2	14.85	23400.00	30.30	33.11	
	M3	14.85	26000.00	30.30	36.79	
	M4	14.95	26000.00	30.10	36.78	
	M5	14.90	24400.00	30.40	34.29	
	M6	14.85	25800.00	30.30	36.50	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	14.95	24100.00	30.30	33.87	33.01
	M2	14.95	22800.00	30.20	32.15	
	M3	14.95	22200.00	30.00	31.51	
	M4	14.95	23500.00	30.00	33.36	
	M5	14.95	24000.00	30.60	33.40	
	M6	14.95	23800.00	30.00	33.78	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>∅ cm</b>	<b>CARGA kg</b>	<b>L cm</b>	<b>RESISTENCIA kg/cm2</b>	<b>PROMEDIO kg/cm2</b>
	M1	15.05	20100.00	30.45	27.92	30.06
	M2	14.90	20900.00	30.25	29.52	
	M3	14.90	21700.00	30.00	30.91	
	M4	14.85	22100.00	30.15	31.42	
	M5	14.90	21500.00	30.00	30.62	
	M6	15.00	21200.00	30.05	29.94	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (20kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	14.90	28500.00	30.40	40.06	37.96
	M2	14.95	26100.00	30.40	36.56	
	M3	15.10	27600.00	30.95	37.60	
	M4	15.00	27600.00	30.20	38.79	
	M5	14.90	25600.00	31.10	35.17	
	M6	14.90	28000.00	30.20	39.61	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	15.00	25600.00	30.10	36.10	33.86
	M2	14.95	24100.00	30.00	34.21	
	M3	14.90	24300.00	30.10	34.49	
	M4	14.90	23300.00	30.10	33.07	
	M5	14.90	23100.00	30.20	32.68	
	M6	15.00	23500.00	30.60	32.59	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>Ø</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>L</b> cm	<b>RESISTENCIA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	15.10	22300.00	30.05	31.29	31.79
	M2	14.90	22200.00	30.15	31.46	
	M3	14.95	23100.00	30.10	32.68	
	M4	14.95	22700.00	30.15	32.06	
	M5	14.95	23200.00	30.20	32.71	
	M6	15.05	22000.00	30.45	30.56	

## RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

### Concreto patrón

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.40	15.40	15.00	3360.00	44.99	42.41
	M2	51.30	15.80	15.50	3300.00	40.25	
	M3	51.30	15.40	15.30	3270.00	42.00	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.30	15.00	15.40	3000.00	39.05	38.97
	M2	51.30	15.60	15.30	3160.00	40.06	
	M3	51.30	15.60	15.80	3180.00	37.81	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.30	15.50	15.10	2220.00	29.08	29.05
	M2	51.50	15.90	16.00	2580.00	29.47	
	M3	51.40	15.40	15.60	2310.00	28.60	

### Concreto con fibras

#### Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (10kg/m<sup>3</sup>)

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	50.50	15.40	15.70	3110.00	37.28	38.90
	M2	51.50	15.80	15.50	3290.00	40.30	
	M3	51.00	16.00	15.50	3270.00	39.13	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.00	15.60	16.00	3090.00	35.59	35.76
	M2	51.50	16.00	15.80	3170.00	36.90	
	M3	51.00	15.50	16.00	3000.00	34.78	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	50.60	15.80	15.60	2780.00	32.97	33.45
	M2	51.20	16.00	15.40	2800.00	34.09	
	M3	50.20	15.60	15.30	2690.00	33.30	



**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (15kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	50.40	15.40	15.40	3220.00	40.03	41.15
	M2	50.50	16.00	15.40	3420.00	41.01	
	M3	51.40	15.50	15.40	3360.00	42.41	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	51.00	15.00	15.50	3360.00	42.89	39.27
	M2	51.50	15.80	15.50	3040.00	37.24	
	M3	51.30	15.80	15.50	3090.00	37.69	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	51.30	15.80	15.80	3000.00	35.22	35.23
	M2	51.20	15.80	15.60	2930.00	35.20	
	M3	51.70	15.40	15.90	2940.00	35.27	

**Fibra metálica 1 RC 65/60 BN (20kg/m3)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	50.50	15.50	15.50	3740.00	45.70	44.32
	M2	51.50	15.70	15.80	3860.00	45.80	
	M3	50.30	16.00	15.50	3520.00	41.48	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	51.40	15.50	15.40	3320.00	41.91	43.09
	M2	51.30	15.50	15.50	3840.00	47.74	
	M3	51.40	15.40	14.80	2880.00	39.62	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm2	<b>PROMEDIO</b> kg/cm2
	M1	51.50	16.20	15.80	2920.00	33.57	35.46
	M2	51.50	15.80	15.50	2940.00	36.01	
	M3	51.80	15.70	15.30	2890.00	36.80	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (10kg/m<sup>3</sup>)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.40	15.20	15.50	3320.00	42.18	43.49
	M2	51.40	15.40	15.00	3360.00	44.99	
	M3	51.50	15.60	15.70	3580.00	43.29	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	50.00	15.20	15.30	3270.00	41.36	39.65
	M2	51.50	15.40	15.50	3120.00	39.21	
	M3	51.40	15.80	15.50	3140.00	38.38	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.20	16.00	15.80	2960.00	34.24	36.33
	M2	51.00	16.00	15.00	3040.00	38.84	
	M3	50.70	15.30	15.80	3000.00	35.89	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (15kg/m<sup>3</sup>)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	50.10	15.10	15.40	3440.00	43.32	43.41
	M2	51.20	15.50	15.20	3480.00	44.90	
	M3	49.50	15.50	15.20	3380.00	42.00	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	49.60	15.80	15.70	3580.00	41.00	41.70
	M2	51.80	15.50	15.60	3580.00	44.42	
	M3	49.40	16.20	15.50	3480.00	39.70	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.30	16.00	15.50	3010.00	36.25	36.24
	M2	51.40	15.80	15.30	3020.00	37.89	
	M3	50.80	15.60	15.50	2830.00	34.58	

**Fibra metálica 2 RC 80/60 BN (20kg/m<sup>3</sup>)**

<b>a/c = 0.40</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	50.30	15.20	15.80	3740.00	44.65	46.31
	M2	50.60	15.60	15.30	3740.00	46.70	
	M3	51.30	15.50	15.20	3680.00	47.58	
<b>a/c = 0.45</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	51.30	15.60	15.60	3520.00	42.93	42.89
	M2	50.80	15.60	15.40	3480.00	43.08	
	M3	51.40	16.00	15.60	3580.00	42.66	
<b>a/c = 0.50</b>	<b>PROBETA</b>	<b>L</b> cm	<b>ANCHO</b> cm	<b>ALTURA</b> cm	<b>CARGA</b> kg	<b>M. ROTURA</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>
	M1	49.80	15.60	15.70	3200.00	37.28	38.95
	M2	50.50	15.50	15.80	3320.00	39.04	
	M3	50.00	15.30	15.50	3310.00	40.52	

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO (MEE)**

<b>MEE a/c = 0.40 - Patrón</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.90</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 30.40</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.50</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.12
4000	0.20	0.0005	22.94	0.25
6000	0.30	0.0008	34.41	0.37
8000	0.40	0.0010	45.88	0.50
10000	0.60	0.0015	57.35	0.74
12000	1.00	0.0025	68.82	1.24
14000	1.25	0.0032	80.29	1.55
16000	1.70	0.0043	91.76	2.11
18000	2.00	0.0051	103.23	2.48
20000	2.30	0.0058	114.70	2.85
22000	2.55	0.0065	126.17	3.16
24000	2.95	0.0075	137.64	3.66
26000	3.35	0.0085	149.11	4.15
28000	3.80	0.0097	160.58	4.71
30000	4.10	0.0104	172.05	5.08
32000	4.40	0.0112	183.52	5.45
34000	4.80	0.0122	194.99	5.95
36000	5.20	0.0132	206.46	6.44
38000	5.65	0.0144	217.93	7.00
40000	5.95	0.0151	229.40	7.37
42000	6.40	0.0163	240.87	7.93
44000	6.90	0.0175	252.34	8.55
46000	7.25	0.0184	263.81	8.98
48000	7.75	0.0197	275.28	9.60
50000	8.20	0.0208	286.75	10.16
52000	8.65	0.0220	298.22	10.72
54000	9.15	0.0232	309.69	11.34
56000	9.75	0.0248	321.16	12.08
58000	10.10	0.0257	332.63	12.51
60000	10.80	0.0274	344.10	13.38
62000	11.35	0.0288	355.57	14.06
64000	12.30	0.0312	367.04	15.24
<b>Pu = 65100</b>			<b>373.35</b>	

<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 15.05</b>				
<b>H (cm) = 30.05</b>				
<b>Le (cm) = 20.25</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.24	0.13
4000	0.15	0.0004	22.49	0.19
6000	0.25	0.0006	33.73	0.31
8000	0.30	0.0008	44.97	0.38
10000	0.65	0.0017	56.21	0.82
12000	0.95	0.0024	67.46	1.19
14000	1.15	0.0029	78.70	1.44
16000	1.50	0.0038	89.94	1.88
18000	1.90	0.0048	101.18	2.38
20000	2.00	0.0051	112.43	2.51
22000	2.30	0.0058	123.67	2.88
24000	2.65	0.0067	134.91	3.32
26000	2.95	0.0075	146.15	3.70
28000	3.35	0.0085	157.40	4.20
30000	3.65	0.0093	168.64	4.58
32000	3.95	0.0100	179.88	4.95
34000	4.25	0.0108	191.12	5.33
36000	4.65	0.0118	202.37	5.83
38000	5.00	0.0127	213.61	6.27
40000	5.35	0.0136	224.85	6.71
42000	5.70	0.0145	236.09	7.15
44000	6.15	0.0156	247.34	7.71
46000	6.55	0.0166	258.58	8.22
48000	6.90	0.0175	269.82	8.65
50000	7.20	0.0183	281.07	9.03
52000	7.65	0.0194	292.31	9.60
54000	8.10	0.0206	303.55	10.16
56000	8.60	0.0218	314.79	10.79
58000	9.05	0.0230	326.04	11.35
60000	9.50	0.0241	337.28	11.92
62000	10.15	0.0258	348.52	12.73
64000	10.95	0.0278	359.76	13.73
<b>Pu = 64800</b>			<b>364.26</b>	

<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) =</b>		14.85		
<b>H (cm) =</b>		30.20		
<b>Le (cm) =</b>		20.15		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.000	0.00	0.00
2000	0.10	0.000	11.55	0.13
4000	0.15	0.000	23.09	0.19
6000	0.25	0.001	34.64	0.32
8000	0.30	0.001	46.19	0.38
10000	0.60	0.002	57.74	0.76
12000	0.90	0.002	69.28	1.13
14000	1.25	0.003	80.83	1.58
16000	1.50	0.004	92.38	1.89
18000	1.85	0.005	103.93	2.33
20000	1.95	0.005	115.47	2.46
22000	2.30	0.006	127.02	2.90
24000	2.75	0.007	138.57	3.47
26000	3.05	0.008	150.12	3.84
28000	3.40	0.009	161.66	4.29
30000	3.70	0.009	173.21	4.66
32000	4.05	0.010	184.76	5.11
34000	4.35	0.011	196.31	5.48
36000	4.65	0.012	207.85	5.86
38000	5.10	0.013	219.40	6.43
40000	5.50	0.014	230.95	6.93
42000	5.95	0.015	242.50	7.50
44000	6.30	0.016	254.04	7.94
46000	6.70	0.017	265.59	8.45
48000	7.10	0.018	277.14	8.95
50000	7.60	0.019	288.69	9.58
52000	7.95	0.020	300.23	10.02
54000	8.60	0.022	311.78	10.84
56000	9.10	0.023	323.33	11.47
58000	9.50	0.024	334.88	11.98
60000	9.95	0.025	346.42	12.54
62000	10.70	0.027	357.97	13.49
<b>62200</b>			<b>359.13</b>	

<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 15.00</b>				
<b>H (cm) = 30.20</b>				
<b>Le (cm) = 20.25</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø) Kg/cm2</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.32	0.13
4000	0.15	0.0004	22.64	0.19
6000	0.25	0.0006	33.95	0.31
8000	0.30	0.0008	45.27	0.38
10000	0.50	0.0013	56.59	0.63
12000	0.90	0.0023	67.91	1.13
14000	1.15	0.0029	79.22	1.44
16000	1.45	0.0037	90.54	1.82
18000	1.70	0.0043	101.86	2.13
20000	2.00	0.0051	113.18	2.51
22000	2.50	0.0064	124.49	3.14
24000	2.90	0.0074	135.81	3.64
26000	2.95	0.0075	147.13	3.70
28000	3.25	0.0083	158.45	4.08
30000	3.60	0.0091	169.77	4.52
32000	3.80	0.0097	181.08	4.77
34000	4.15	0.0105	192.40	5.21
36000	4.55	0.0116	203.72	5.71
38000	4.95	0.0126	215.04	6.21
40000	5.20	0.0132	226.35	6.52
42000	5.60	0.0142	237.67	7.02
44000	6.00	0.0152	248.99	7.53
46000	6.35	0.0161	260.31	7.96
48000	6.70	0.0170	271.62	8.40
50000	7.10	0.0180	282.94	8.91
52000	7.55	0.0192	294.26	9.47
54000	8.00	0.0203	305.58	10.03
56000	8.50	0.0216	316.90	10.66
58000	8.70	0.0221	328.21	10.91
60000	9.45	0.0240	339.53	11.85
62000	10.05	0.0255	350.85	12.61
64000	10.70	0.0272	362.17	13.42
66000	11.35	0.029	373.48	14.24
<b>Pu = 67100</b>			<b>379.71</b>	

<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.95</b>				
<b>H (cm) = 30.40</b>				
<b>Le (cm) = 20.50</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.39	0.12
4000	0.15	0.0004	22.79	0.19
6000	0.25	0.0006	34.18	0.31
8000	0.30	0.0008	45.57	0.37
10000	0.60	0.0015	56.97	0.74
12000	0.90	0.0023	68.36	1.12
14000	1.10	0.0028	79.75	1.36
16000	1.45	0.0037	91.15	1.80
18000	1.70	0.0043	102.54	2.11
20000	1.95	0.0050	113.94	2.42
22000	2.25	0.0057	125.33	2.79
24000	2.50	0.0064	136.72	3.10
26000	2.90	0.0074	148.12	3.59
28000	3.20	0.0081	159.51	3.96
30000	3.70	0.0094	170.90	4.58
32000	3.85	0.0098	182.30	4.77
34000	4.10	0.0104	193.69	5.08
36000	4.50	0.0114	205.08	5.58
38000	4.90	0.0124	216.48	6.07
40000	5.15	0.0131	227.87	6.38
42000	5.50	0.0140	239.26	6.81
44000	5.90	0.0150	250.66	7.31
46000	6.30	0.0160	262.05	7.81
48000	6.70	0.0170	273.44	8.30
50000	7.05	0.0179	284.84	8.74
52000	7.45	0.0189	296.23	9.23
54000	7.95	0.0202	307.62	9.85
56000	8.45	0.0215	319.02	10.47
58000	8.90	0.0226	330.41	11.03
60000	9.35	0.0237	341.81	11.58
62000	10.00	0.0254	353.20	12.39
64000	10.75	0.0273	364.59	13.32
66000	11.40	0.029	375.99	14.12
68000	11.95	0.030	387.38	14.81
<b>Pu = 68700</b>			<b>391.37</b>	



<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>14.90</b>	
<b>H</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>29.90</b>	
<b>Le</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>20.50</b>	
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.12
4000	0.15	0.0004	22.94	0.19
6000	0.25	0.0006	34.41	0.31
8000	0.35	0.0009	45.88	0.43
10000	0.55	0.0014	57.35	0.68
12000	0.90	0.0023	68.82	1.12
14000	1.15	0.0029	80.29	1.42
16000	1.50	0.0038	91.76	1.86
18000	1.75	0.0044	103.23	2.17
20000	2.00	0.0051	114.70	2.48
22000	2.30	0.0058	126.17	2.85
24000	2.65	0.0067	137.64	3.28
26000	3.00	0.0076	149.11	3.72
28000	3.30	0.0084	160.58	4.09
30000	3.65	0.0093	172.05	4.52
32000	3.95	0.0100	183.52	4.89
34000	4.25	0.0108	194.99	5.27
36000	4.65	0.0118	206.46	5.76
38000	5.10	0.0130	217.93	6.32
40000	5.40	0.0137	229.40	6.69
42000	5.70	0.0145	240.87	7.06
44000	6.15	0.0156	252.34	7.62
46000	6.50	0.0165	263.81	8.05
48000	6.90	0.0175	275.28	8.55
50000	7.30	0.0185	286.75	9.04
52000	7.90	0.0201	298.22	9.79
54000	8.20	0.0208	309.69	10.16
56000	8.70	0.0221	321.16	10.78
58000	8.95	0.0227	332.63	11.09
60000	9.70	0.0246	344.10	12.02
62000	10.30	0.0262	355.57	12.76
64000	10.95	0.0278	367.04	13.57
66000	11.65	0.030	378.51	14.43
<b>Pu = 66200</b>			<b>379.66</b>	

<b>MEE a/c = 0.40 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.90</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 30.50</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.50</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.12
4000	0.15	0.0004	22.94	0.19
6000	0.25	0.0006	34.41	0.31
8000	0.35	0.0009	45.88	0.43
10000	0.65	0.0017	57.35	0.81
12000	0.85	0.0022	68.82	1.05
14000	1.15	0.0029	80.29	1.42
16000	1.25	0.0032	91.76	1.55
18000	1.65	0.0042	103.23	2.04
20000	1.95	0.0050	114.70	2.42
22000	2.30	0.0058	126.17	2.85
24000	2.70	0.0069	137.64	3.35
26000	2.90	0.0074	149.11	3.59
28000	3.30	0.0084	160.58	4.09
30000	3.55	0.0090	172.05	4.40
32000	3.65	0.0093	183.52	4.52
34000	3.80	0.0097	194.99	4.71
36000	4.15	0.0105	206.46	5.14
38000	4.50	0.0114	217.93	5.58
40000	4.80	0.0122	229.40	5.95
42000	5.20	0.0132	240.87	6.44
44000	5.55	0.0141	252.34	6.88
46000	5.90	0.0150	263.81	7.31
48000	6.15	0.0156	275.28	7.62
50000	6.55	0.0166	286.75	8.12
52000	6.95	0.0177	298.22	8.61
54000	7.40	0.0188	309.69	9.17
56000	7.85	0.0199	321.16	9.73
58000	8.15	0.0207	332.63	10.10
60000	8.55	0.0217	344.10	10.59
62000	9.10	0.0231	355.57	11.28
64000	9.65	0.0245	367.04	11.96
66000	10.25	0.0260	378.51	12.70
<b>Pu = 66400</b>			<b>380.81</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 - Patrón</b>				
<b>Ø (cm) = 15.10</b>				
<b>H (cm) = 30.20</b>				
<b>Le (cm) = 19.70</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø) Kg/cm2</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.32	0.13
4000	0.15	0.0004	22.64	0.19
6000	0.25	0.0006	33.95	0.32
8000	0.30	0.0008	45.27	0.39
10000	0.40	0.0010	56.59	0.52
12000	0.75	0.0019	67.91	0.97
14000	0.95	0.0024	79.23	1.22
16000	1.35	0.0034	90.55	1.74
18000	1.65	0.0042	101.86	2.13
20000	1.85	0.0047	113.18	2.39
22000	2.25	0.0057	124.50	2.90
24000	2.55	0.0065	135.82	3.29
26000	2.80	0.0071	147.14	3.61
28000	3.20	0.0081	158.45	4.13
30000	3.60	0.0091	169.77	4.64
32000	4.00	0.0102	181.09	5.16
34000	4.30	0.0109	192.41	5.54
36000	4.70	0.0119	203.73	6.06
38000	5.05	0.0128	215.05	6.51
40000	5.40	0.0137	226.36	6.96
42000	5.70	0.0145	237.68	7.35
44000	6.10	0.0155	249.00	7.86
46000	6.45	0.0164	260.32	8.32
48000	6.85	0.0174	271.64	8.83
50000	7.30	0.0185	282.95	9.41
52000	7.80	0.0198	294.27	10.06
54000	8.20	0.0208	305.59	10.57
56000	8.65	0.0220	316.91	11.15
58000	8.95	0.0227	328.23	11.54
60000	9.65	0.0245	339.55	12.44
62000	10.15	0.0258	350.86	13.09
64000	10.80	0.0274	362.18	13.92
66000	11.45	0.0291	373.50	14.76
<b>Pu = 66400</b>			<b>370.79</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 15.00</b>				
<b>H (cm) = 30.05</b>				
<b>Le (cm) = 20.20</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.32	0.13
4000	0.15	0.0004	22.64	0.19
6000	0.25	0.0006	33.95	0.31
8000	0.35	0.0009	45.27	0.44
10000	0.65	0.0017	56.59	0.82
12000	0.80	0.0020	67.91	1.01
14000	1.00	0.0025	79.22	1.26
16000	1.35	0.0034	90.54	1.70
18000	1.70	0.0043	101.86	2.14
20000	1.95	0.0050	113.18	2.45
22000	2.35	0.0060	124.49	2.95
24000	2.80	0.0071	135.81	3.52
26000	3.10	0.0079	147.13	3.90
28000	3.40	0.0086	158.45	4.28
30000	3.85	0.0098	169.77	4.84
32000	4.20	0.0107	181.08	5.28
34000	4.55	0.0116	192.40	5.72
36000	5.00	0.0127	203.72	6.29
38000	5.30	0.0135	215.04	6.66
40000	5.65	0.0144	226.35	7.10
42000	6.05	0.0154	237.67	7.61
44000	6.40	0.0163	248.99	8.05
46000	6.80	0.0173	260.31	8.55
48000	7.25	0.0184	271.62	9.12
50000	7.70	0.0196	282.94	9.68
52000	8.25	0.0210	294.26	10.37
54000	8.75	0.0222	305.58	11.00
56000	9.25	0.0235	316.90	11.63
58000	9.95	0.0253	328.21	12.51
60000	10.20	0.0259	339.53	12.83
62000	10.85	0.0276	350.85	13.64
<b>Pu = 63200</b>			<b>357.64</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.95</b>				
<b>H (cm) = 30.05</b>				
<b>Le (cm) = 20.05</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.000	0.00	0.00
2000	0.10	0.000	11.39	0.13
4000	0.15	0.000	22.79	0.19
6000	0.25	0.001	34.18	0.32
8000	0.25	0.001	45.57	0.32
10000	0.40	0.001	56.97	0.51
12000	0.70	0.002	68.36	0.89
14000	1.00	0.003	79.75	1.27
16000	1.35	0.003	91.15	1.71
18000	1.55	0.004	102.54	1.96
20000	1.80	0.005	113.94	2.28
22000	2.20	0.006	125.33	2.79
24000	2.55	0.006	136.72	3.23
26000	2.85	0.007	148.12	3.61
28000	3.20	0.008	159.51	4.05
30000	3.50	0.009	170.90	4.43
32000	3.85	0.010	182.30	4.88
34000	4.25	0.011	193.69	5.38
36000	4.60	0.012	205.08	5.83
38000	4.90	0.012	216.48	6.21
40000	5.25	0.013	227.87	6.65
42000	5.55	0.014	239.26	7.03
44000	5.95	0.015	250.66	7.54
46000	6.35	0.016	262.05	8.04
48000	6.70	0.017	273.44	8.49
50000	7.10	0.018	284.84	8.99
52000	7.75	0.020	296.23	9.82
54000	8.15	0.021	307.62	10.32
56000	8.60	0.022	319.02	10.89
58000	9.05	0.023	330.41	11.46
60000	9.65	0.025	341.81	12.22
<b>Pu = 60100</b>			<b>342.38</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.90</b>				
<b>H (cm) = 30.15</b>				
<b>Le (cm) = 20.15</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = DL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.13
4000	0.15	0.0004	22.94	0.19
6000	0.25	0.0006	34.41	0.32
8000	0.25	0.0006	45.88	0.32
10000	0.40	0.0010	57.35	0.50
12000	0.70	0.0018	68.82	0.88
14000	0.95	0.0024	80.29	1.20
16000	1.25	0.0032	91.76	1.58
18000	1.55	0.0039	103.23	1.95
20000	1.80	0.0046	114.70	2.27
22000	2.15	0.0055	126.17	2.71
24000	2.55	0.0065	137.64	3.21
26000	2.80	0.0071	149.11	3.53
28000	3.15	0.0080	160.58	3.97
30000	3.45	0.0088	172.05	4.35
32000	3.80	0.0097	183.52	4.79
34000	4.20	0.0107	194.99	5.29
36000	4.55	0.0116	206.46	5.74
38000	4.85	0.0123	217.93	6.11
40000	5.15	0.0131	229.40	6.49
42000	5.45	0.0138	240.87	6.87
44000	5.90	0.0150	252.34	7.44
46000	6.25	0.0159	263.81	7.88
48000	6.65	0.0169	275.28	8.38
50000	7.00	0.0178	286.75	8.82
52000	7.50	0.0191	298.22	9.45
54000	7.90	0.0201	309.69	9.96
56000	8.35	0.0212	321.16	10.35
58000	8.65	0.0220	332.63	10.72
60000	9.30	0.0236	344.10	11.52
<b>Pu = 61800</b>			<b>354.43</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.90</b>				
<b>H (cm) = 29.95</b>				
<b>Le (cm) = 19.95</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.13
4000	0.15	0.0004	22.94	0.19
6000	0.25	0.0006	34.41	0.32
8000	0.40	0.0010	45.88	0.51
10000	0.70	0.0018	57.35	0.89
12000	0.95	0.0024	68.82	1.21
14000	1.40	0.0036	80.29	1.78
16000	1.65	0.0042	91.76	2.10
18000	1.95	0.0050	103.23	2.48
20000	2.25	0.0057	114.70	2.86
22000	2.50	0.0064	126.17	3.18
24000	2.85	0.0072	137.64	3.63
26000	3.25	0.0083	149.11	4.14
28000	3.60	0.0091	160.58	4.58
30000	3.80	0.0097	172.05	4.84
32000	4.00	0.0102	183.52	5.09
34000	4.30	0.0109	194.99	5.47
36000	4.60	0.0117	206.46	5.86
38000	4.90	0.0124	217.93	6.24
40000	5.20	0.0132	229.40	6.62
42000	5.50	0.0140	240.87	7.00
44000	5.90	0.0150	252.34	7.51
46000	6.30	0.0160	263.81	8.02
48000	6.65	0.0169	275.28	8.47
50000	7.05	0.0179	286.75	8.98
52000	7.60	0.0193	298.22	9.68
54000	8.00	0.0203	309.69	10.19
56000	8.45	0.0215	321.16	10.76
58000	8.75	0.0222	332.63	11.14
60000	9.40	0.0239	344.10	11.97
62000	9.85	0.0250	355.57	12.54
<b>Pu = 63100</b>			<b>361.88</b>	

<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.80</b>				
<b>H (cm) = 30.20</b>				
<b>Le (cm) = 20.20</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.63	0.13
4000	0.15	0.0004	23.25	0.19
6000	0.25	0.0006	34.88	0.31
8000	0.35	0.0009	46.50	0.44
10000	0.40	0.0010	58.13	0.50
12000	0.75	0.0019	69.75	0.94
14000	1.00	0.0025	81.38	1.26
16000	1.35	0.0034	93.01	1.70
18000	1.65	0.0042	104.63	2.07
20000	1.90	0.0048	116.26	2.39
22000	2.30	0.0058	127.88	2.89
24000	2.65	0.0067	139.51	3.33
26000	3.00	0.0076	151.13	3.77
28000	3.35	0.0085	162.76	4.21
30000	3.70	0.0094	174.38	4.65
32000	4.05	0.0103	186.01	5.09
34000	4.40	0.0112	197.64	5.53
36000	4.85	0.0123	209.26	6.10
38000	5.15	0.0131	220.89	6.48
40000	5.55	0.0141	232.51	6.98
42000	5.95	0.0151	244.14	7.48
44000	6.20	0.0157	255.76	7.80
46000	6.65	0.0169	267.39	8.36
48000	7.05	0.0179	279.02	8.86
50000	7.65	0.0194	290.64	9.62
52000	8.05	0.0204	302.27	10.12
54000	8.70	0.0221	313.89	10.94
56000	9.15	0.0232	325.52	11.51
58000	9.75	0.0248	337.14	12.26
<b>Pu = 58300</b>			<b>338.89</b>	



<b>MEE a/c = 0.45 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 15.00</b>				
<b>H (cm) = 30.10</b>				
<b>Le (cm) = 20.05</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.32	0.13
4000	0.15	0.0004	22.64	0.19
6000	0.25	0.0006	33.95	0.32
8000	0.30	0.0008	45.27	0.38
10000	0.55	0.0014	56.59	0.70
12000	0.75	0.0019	67.91	0.95
14000	1.00	0.0025	79.22	1.27
16000	1.35	0.0034	90.54	1.71
18000	1.65	0.0042	101.86	2.09
20000	1.95	0.0050	113.18	2.47
22000	2.35	0.0060	124.49	2.98
24000	2.65	0.0067	135.81	3.36
26000	2.95	0.0075	147.13	3.74
28000	3.10	0.0079	158.45	3.93
30000	3.50	0.0089	169.77	4.43
32000	3.95	0.0100	181.08	5.00
34000	4.30	0.0109	192.40	5.45
36000	4.75	0.0121	203.72	6.02
38000	5.10	0.0130	215.04	6.46
40000	5.50	0.0140	226.35	6.97
42000	5.80	0.0147	237.67	7.35
44000	6.20	0.0157	248.99	7.85
46000	6.60	0.0168	260.31	8.36
48000	7.10	0.0180	271.62	8.99
50000	7.45	0.0189	282.94	9.44
52000	7.95	0.0202	294.26	10.07
54000	8.35	0.0212	305.58	10.58
56000	8.90	0.0226	316.90	11.22
58000	9.25	0.0235	328.21	11.66
60000	9.85	0.0250	339.53	12.42
<b>Pu = 61800</b>			<b>349.72</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 - Patrón</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.85</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 30.45</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.50</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.51	0.12
4000	0.15	0.0004	23.02	0.19
6000	0.40	0.0010	34.53	0.50
8000	0.75	0.0019	46.03	0.93
10000	1.05	0.0027	57.54	1.30
12000	1.40	0.0036	69.05	1.73
14000	1.65	0.0042	80.56	2.04
16000	2.05	0.0052	92.07	2.54
18000	2.35	0.0060	103.58	2.91
20000	2.75	0.0070	115.09	3.41
22000	3.10	0.0079	126.60	3.84
24000	3.60	0.0091	138.10	4.46
26000	3.95	0.0100	149.61	4.89
28000	4.35	0.0110	161.12	5.39
30000	4.75	0.0121	172.63	5.89
32000	5.30	0.0135	184.14	6.57
34000	5.95	0.0151	195.65	7.37
36000	6.40	0.0163	207.16	7.93
38000	6.80	0.0173	218.67	8.43
40000	7.30	0.0185	230.17	9.04
42000	7.85	0.0199	241.68	9.73
44000	8.30	0.0211	253.19	10.28
46000	8.85	0.0225	264.70	10.97
48000	9.40	0.0239	276.21	11.65
50000	9.95	0.0253	287.72	12.33
52000	10.60	0.0269	299.23	13.13
54000	11.20	0.0284	310.74	13.88
56000	12.00	0.0305	322.24	14.87
58000	12.80	0.0325	333.75	15.86
60000	13.75	0.0349	345.26	17.04
62000	14.95	0.0380	356.77	18.52
<b>Pu = 62400</b>			<b>360.28</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.90</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 29.45</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.50</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>		<b>Kg/cm2</b>	
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.47	0.12
4000	0.15	0.0004	22.94	0.19
6000	0.45	0.0011	34.41	0.56
8000	0.75	0.0019	45.88	0.93
10000	1.05	0.0027	57.35	1.30
12000	1.45	0.0037	68.82	1.80
14000	1.70	0.0043	80.29	2.11
16000	2.15	0.0055	91.76	2.66
18000	2.45	0.0062	103.23	3.04
20000	2.75	0.0070	114.70	3.41
22000	3.15	0.0080	126.17	3.90
24000	3.65	0.0093	137.64	4.52
26000	4.05	0.0103	149.11	5.02
28000	4.40	0.0112	160.58	5.45
30000	4.80	0.0122	172.05	5.95
32000	5.40	0.0137	183.52	6.69
34000	6.00	0.0152	194.99	7.43
36000	6.50	0.0165	206.46	8.05
38000	6.90	0.0175	217.93	8.55
40000	7.40	0.0188	229.40	9.17
42000	7.95	0.0202	240.87	9.85
44000	8.40	0.0213	252.34	10.41
46000	8.95	0.0227	263.81	11.09
48000	9.55	0.0243	275.28	11.83
50000	10.10	0.0257	286.75	12.51
52000	10.70	0.0272	298.22	13.26
54000	11.35	0.0288	309.69	14.06
56000	12.15	0.0309	321.16	15.05
58000	12.95	0.0329	332.63	16.05
<b>Pu = 59100</b>			<b>338.94</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.90</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 29.90</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.10</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.000	0.00	0.00
2000	0.10	0.000	11.47	0.13
4000	0.15	0.000	22.94	0.19
6000	0.45	0.001	34.41	0.57
8000	0.75	0.002	45.88	0.95
10000	1.05	0.003	57.35	1.33
12000	1.45	0.004	68.82	1.83
14000	1.60	0.004	80.29	2.02
16000	2.00	0.005	91.76	2.53
18000	2.30	0.006	103.23	2.91
20000	2.70	0.007	114.70	3.41
22000	3.00	0.008	126.17	3.79
24000	3.45	0.009	137.64	4.36
26000	3.85	0.010	149.11	4.87
28000	4.25	0.011	160.58	5.37
30000	4.60	0.012	172.05	5.81
32000	5.15	0.013	183.52	6.51
34000	5.75	0.015	194.99	7.27
36000	6.25	0.016	206.46	7.90
38000	6.60	0.017	217.93	8.34
40000	7.10	0.018	229.40	8.97
42000	7.60	0.019	240.87	9.60
44000	8.05	0.020	252.34	10.17
46000	8.60	0.022	263.81	10.87
48000	9.10	0.023	275.28	11.50
50000	9.70	0.025	286.75	12.26
52000	10.30	0.026	298.22	13.02
54000	10.90	0.028	309.69	13.77
56000	11.45	0.029	321.16	14.47
<b>Pu = 56700</b>			<b>325.18</b>	

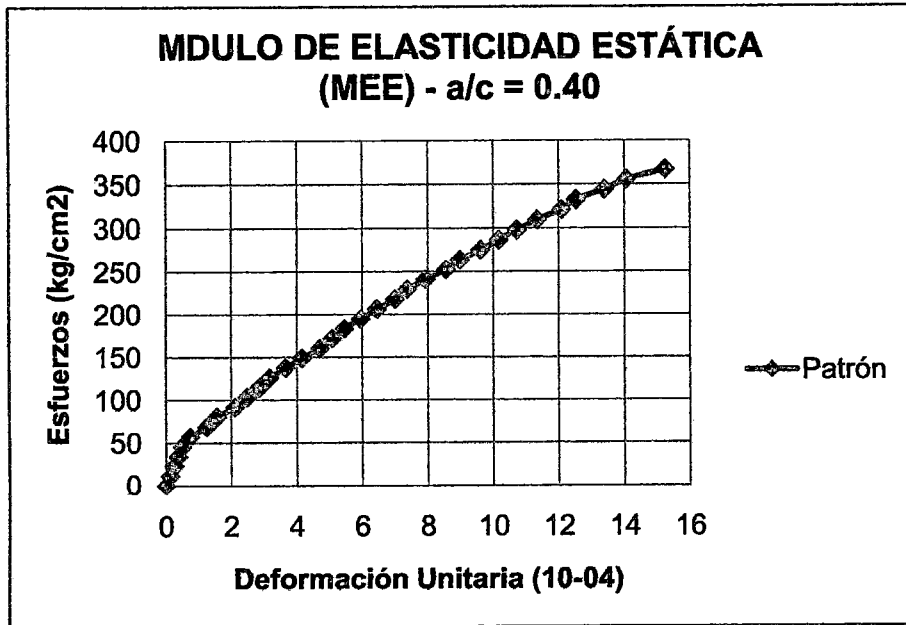
<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 1 RC 65/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>14.85</b>	
<b>H</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>30.45</b>	
<b>Le</b>	<b>(cm)</b>	<b>=</b>	<b>20.50</b>	
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>		<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>	<b>cm</b>	<b>Kg/cm2</b>	
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.55	0.12
4000	0.15	0.0004	23.09	0.19
6000	0.40	0.0010	34.64	0.50
8000	0.75	0.0019	46.19	0.93
10000	1.05	0.0027	57.74	1.30
12000	1.45	0.0037	69.28	1.80
14000	1.70	0.0043	80.83	2.11
16000	2.10	0.0053	92.38	2.60
18000	2.40	0.0061	103.93	2.97
20000	2.80	0.0071	115.47	3.47
22000	3.15	0.0080	127.02	3.90
24000	3.65	0.0093	138.57	4.52
26000	4.05	0.0103	150.12	5.02
28000	4.45	0.0113	161.66	5.51
30000	4.85	0.0123	173.21	6.01
32000	5.40	0.0137	184.76	6.69
34000	6.05	0.0154	196.31	7.50
36000	6.55	0.0166	207.85	8.12
38000	6.95	0.0177	219.40	8.61
40000	7.45	0.0189	230.95	9.23
42000	8.00	0.0203	242.50	9.91
44000	8.45	0.0215	254.04	10.47
46000	9.05	0.0230	265.59	11.21
48000	9.60	0.0244	277.14	11.89
50000	10.15	0.0258	288.69	12.58
52000	10.80	0.0274	300.23	13.38
54000	11.45	0.0291	311.78	14.19
56000	12.25	0.0311	323.33	15.18
58000	12.80	0.0325	334.88	15.86
<b>Pu = 59800</b>			<b>345.27</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 10kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.80</b>				
<b>H (cm) = 30.70</b>				
<b>Le (cm) = 20.15</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>		<b>Kg/cm2</b>	
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.63	0.13
4000	0.15	0.0004	23.25	0.19
6000	0.45	0.0011	34.88	0.57
8000	0.80	0.0020	46.50	1.01
10000	1.05	0.0027	58.13	1.32
12000	1.45	0.0037	69.75	1.83
14000	1.80	0.0046	81.38	2.27
16000	2.10	0.0053	93.01	2.65
18000	2.40	0.0061	104.63	3.03
20000	2.80	0.0071	116.26	3.53
22000	3.15	0.0080	127.88	3.97
24000	3.65	0.0093	139.51	4.60
26000	4.05	0.0103	151.13	5.11
28000	4.45	0.0113	162.76	5.61
30000	4.85	0.0123	174.38	6.11
32000	5.40	0.0137	186.01	6.81
34000	6.05	0.0154	197.64	7.63
36000	6.55	0.0166	209.26	8.26
38000	7.00	0.0178	220.89	8.82
40000	7.45	0.0189	232.51	9.39
42000	8.00	0.0203	244.14	10.08
44000	8.45	0.0215	255.76	10.65
46000	9.05	0.0230	267.39	11.41
48000	9.60	0.0244	279.02	12.10
50000	10.15	0.0258	290.64	12.79
52000	10.80	0.0274	302.27	13.61
54000	11.45	0.0291	313.89	14.43
56000	11.85	0.0301	325.52	14.94
58000	12.35	0.0314	337.14	15.57
<b>Pu = 59100</b>			<b>343.54</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 15kg/m3</b>				
<b>Ø (cm) = 14.80</b>				
<b>H (cm) = 30.40</b>				
<b>Le (cm) = 20.30</b>				
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø) Kg/cm2</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.63	0.13
4000	0.15	0.0004	23.25	0.19
6000	0.40	0.0010	34.88	0.50
8000	0.70	0.0018	46.50	0.88
10000	1.00	0.0025	58.13	1.25
12000	1.40	0.0036	69.75	1.75
14000	1.65	0.0042	81.38	2.06
16000	2.05	0.0052	93.01	2.57
18000	2.35	0.0060	104.63	2.94
20000	2.70	0.0069	116.26	3.38
22000	3.05	0.0077	127.88	3.82
24000	3.50	0.0089	139.51	4.38
26000	3.90	0.0099	151.13	4.88
28000	4.25	0.0108	162.76	5.32
30000	4.70	0.0119	174.38	5.88
32000	5.20	0.0132	186.01	6.51
34000	5.85	0.0149	197.64	7.32
36000	6.30	0.0160	209.26	7.88
38000	6.70	0.0170	220.89	8.38
40000	7.15	0.0182	232.51	8.95
42000	7.70	0.0196	244.14	9.63
44000	8.15	0.0207	255.76	10.20
46000	8.75	0.0222	267.39	10.95
48000	9.25	0.0235	279.02	11.57
50000	9.80	0.0249	290.64	12.26
52000	10.40	0.0264	302.27	13.01
54000	11.05	0.0281	313.89	13.83
56000	11.85	0.0301	325.52	14.83
58000	12.60	0.0320	337.14	15.77
<b>Pu = 58600</b>			<b>340.63</b>	

<b>MEE a/c = 0.50 con fibra metálica 2 RC 80/60 BN – 20kg/m3</b>				
<b>Ø</b>		<b>(cm) = 14.70</b>		
<b>H</b>		<b>(cm) = 29.90</b>		
<b>Le</b>		<b>(cm) = 20.15</b>		
<b>Lectura</b>				
<b>P</b>	<b>pulg</b>	<b>cm</b>	<b>P/Area (Ø)</b> <b>Kg/cm2</b>	<b>e = ΔL/Le x E-04</b>
<b>kg</b>	<b>x 0.001</b>			
0	0.00	0.0000	0.00	0.00
2000	0.10	0.0003	11.78	0.13
4000	0.15	0.0004	23.57	0.19
6000	0.30	0.0008	35.35	0.38
8000	0.50	0.0013	47.14	0.63
10000	0.90	0.0023	58.92	1.13
12000	1.15	0.0029	70.71	1.45
14000	1.50	0.0038	82.49	1.89
16000	1.95	0.0050	94.27	2.46
18000	2.20	0.0056	106.06	2.77
20000	2.55	0.0065	117.84	3.21
22000	2.95	0.0075	129.63	3.72
24000	3.45	0.0088	141.41	4.35
26000	3.75	0.0095	153.20	4.73
28000	4.00	0.0102	164.98	5.04
30000	4.50	0.0114	176.77	5.67
32000	4.85	0.0123	188.55	6.11
34000	5.30	0.0135	200.33	6.68
36000	5.85	0.0149	212.12	7.37
38000	6.15	0.0156	223.90	7.75
40000	6.65	0.0169	235.69	8.38
42000	7.15	0.0182	247.47	9.01
44000	7.60	0.0193	259.26	9.58
46000	8.05	0.0204	271.04	10.15
48000	8.55	0.0217	282.82	10.78
50000	9.25	0.0235	294.61	11.66
52000	9.95	0.0253	306.39	12.54
54000	10.50	0.0267	318.18	13.24
56000	11.25	0.0286	329.96	14.18
<b>Pu = 57600</b>			<b>339.39</b>	

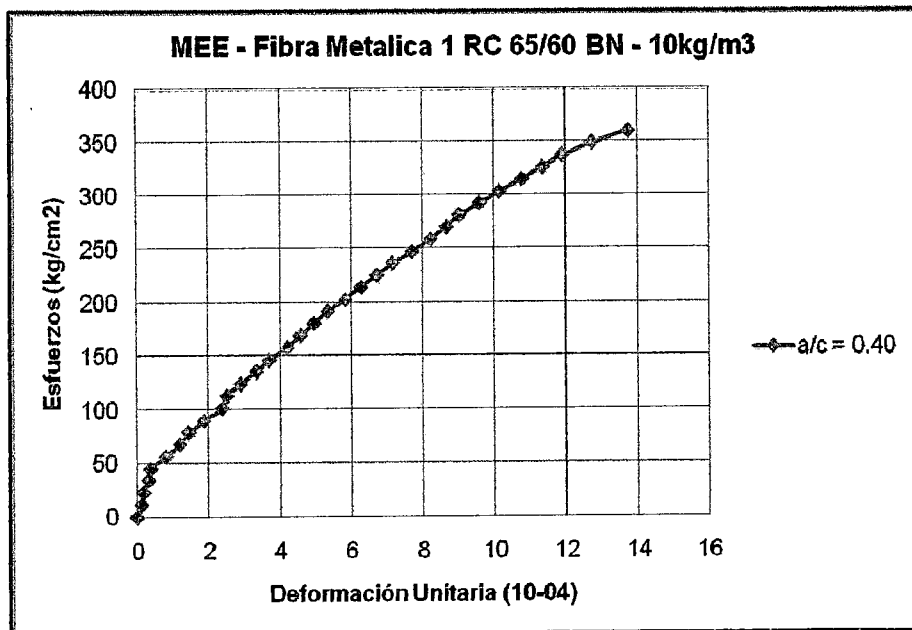




S	deformación
88	2.0E-04
149	4.162E-04
46	5.0E-05

$$MEE = \frac{103.26}{3.662E-04}$$

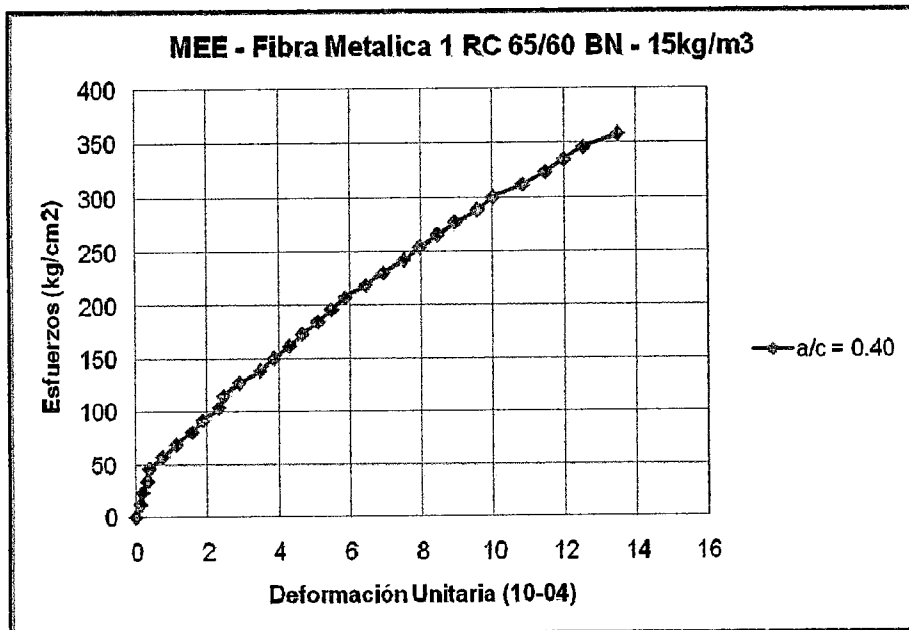
S2  
 S1  $MEE = 281978.38 \text{ Kg/cm}^2$



S	deformación
93	2.0E-04
146	3.685E-04
48	5.0E-05

$$MEE = \frac{97.57}{3685E-04}$$

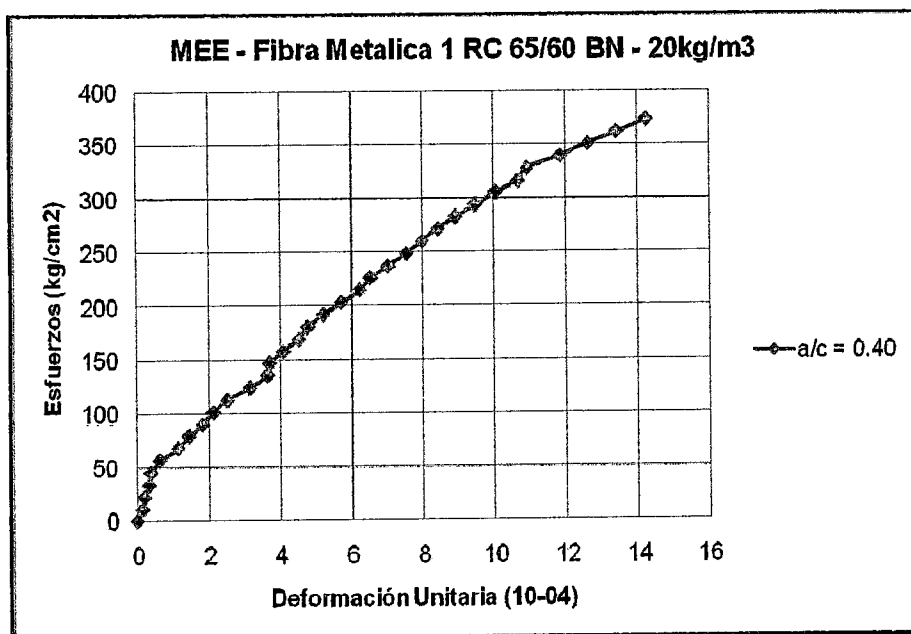
S2  
 S1  $MEE = 306310.49 \text{ Kg/cm}^2$



S	deformación
95	2.0E-04
144	3.633E-04
49.91	5.0E-05

$$MEE = \frac{93.74}{3.133E-04}$$

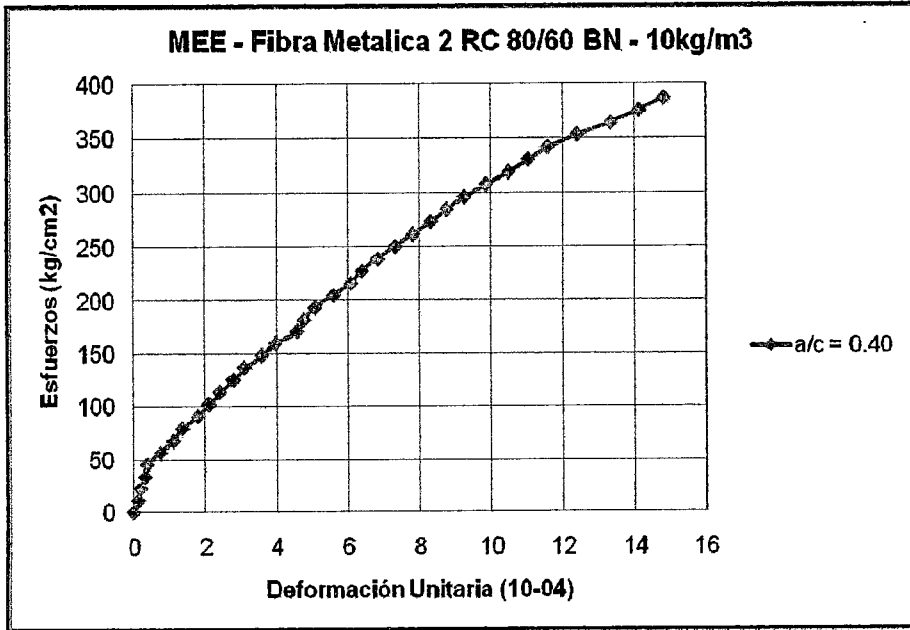
S2  
 S1 MEE = 299213.44 Kg/cm2



S	deformación
97	2.0E-04
152	3.858E-04
51	5.0E-05

$$MEE = \frac{101.03}{3.358E-04}$$

S2  
 S1 MEE = 300842.64 Kg/cm2



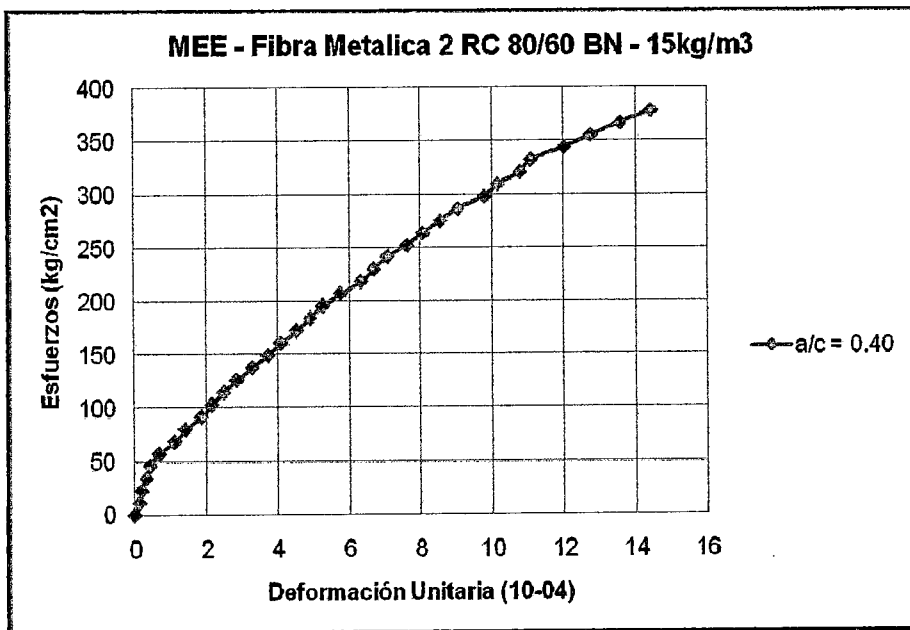
S	deformación
99	2.0E-04
157	3.868E-04
49.5	5.0E-05

$$MEE = \frac{107.04}{3.368E-04}$$

S2

$$MEE = 317793.91 \text{ Kg/cm}^2$$

S1



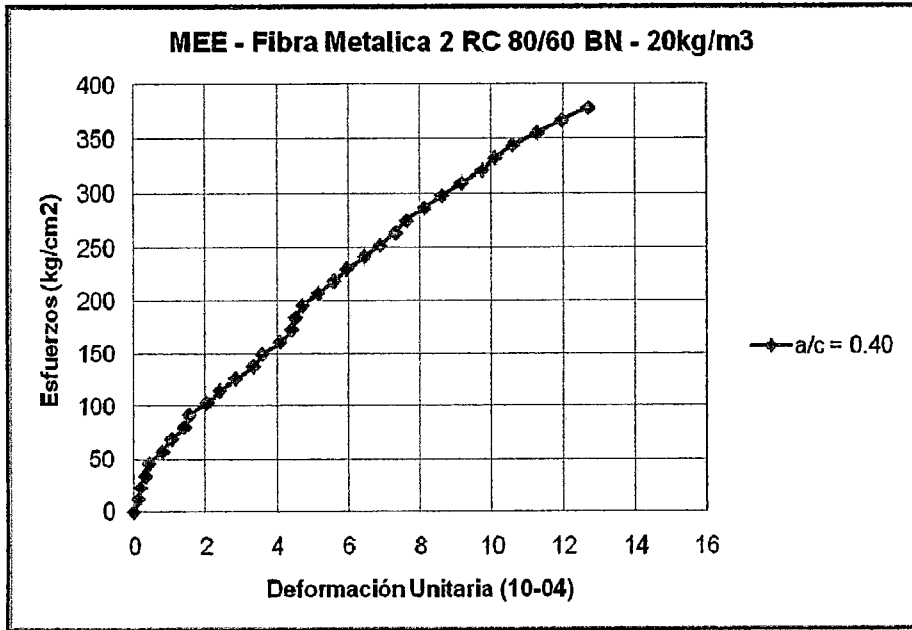
S	deformación
99	2.0E-04
157	3.868-04
49.5	5.0E-05

$$MEE = \frac{107.04}{3.368E-04}$$

S2

$$MEE = 317793.91 \text{ Kg/cm}^2$$

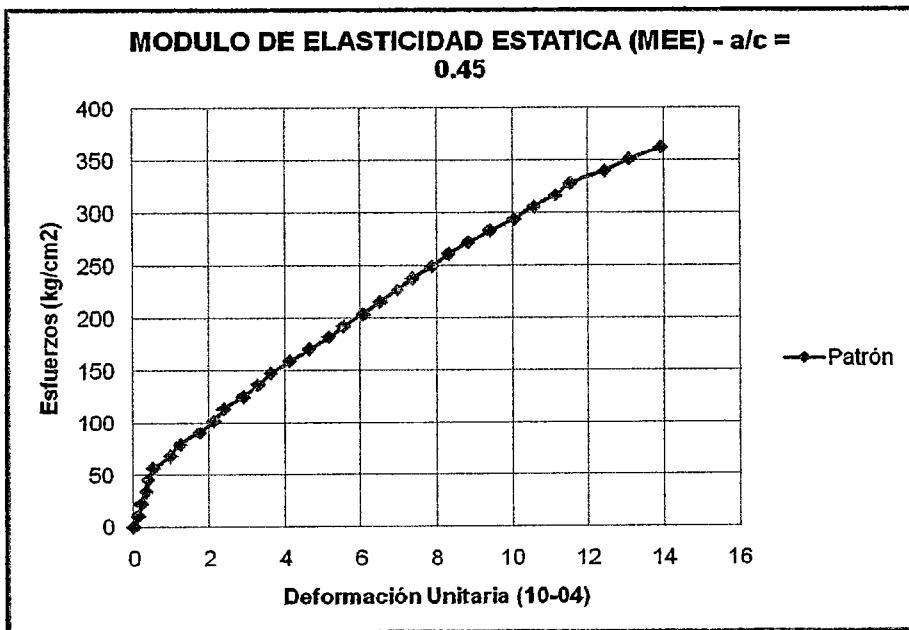
S1



S	deformación
97	2.0E-04
152	3.806E-04
48.95	5.0E-05

$$MEE = \frac{102.91}{3.306E-04}$$

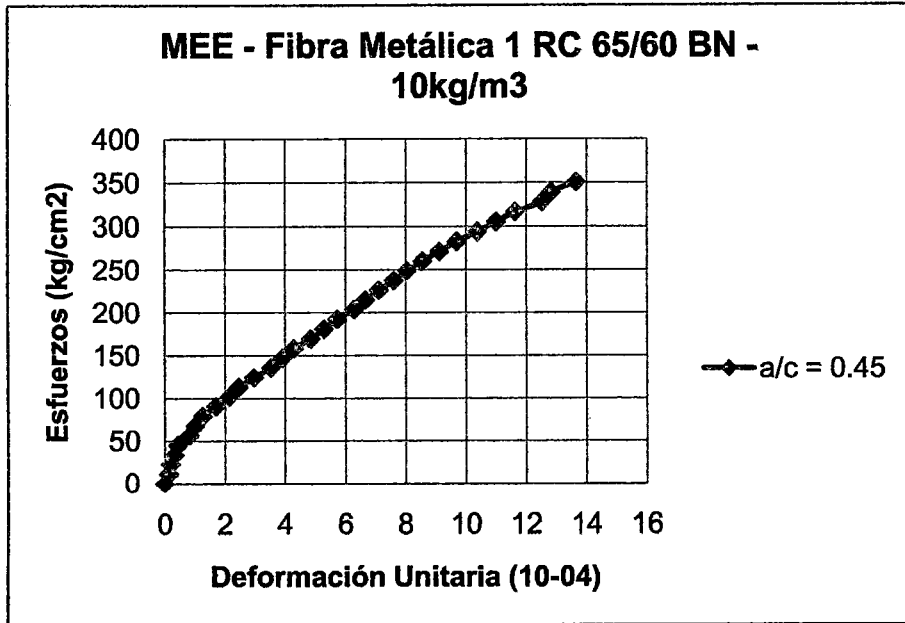
S2  
S1  $MEE = 311265.19 \text{ Kg/cm}^2$



S	deformación
98	2.0E-04
148	3.846E-04
55	5.0E-05

$$MEE = \frac{93.11}{3.346E-04}$$

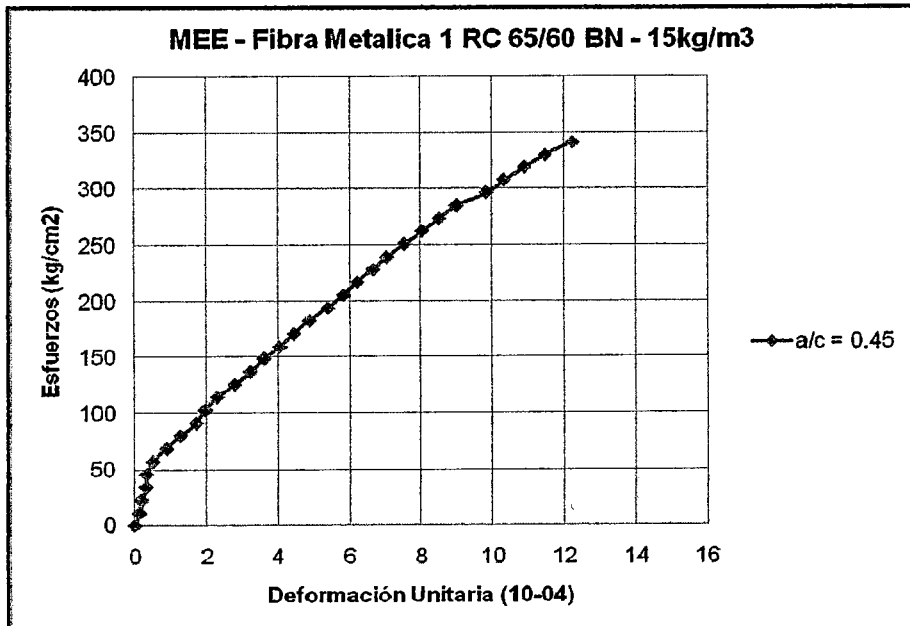
S2  
S1  $MEE = 2278217.24 \text{ Kg/cm}^2$



S	deformación
98	2.0E-04
142	3.731E-04
47	5.0E-05

$$MEE = \frac{95.04}{3.231E-04}$$

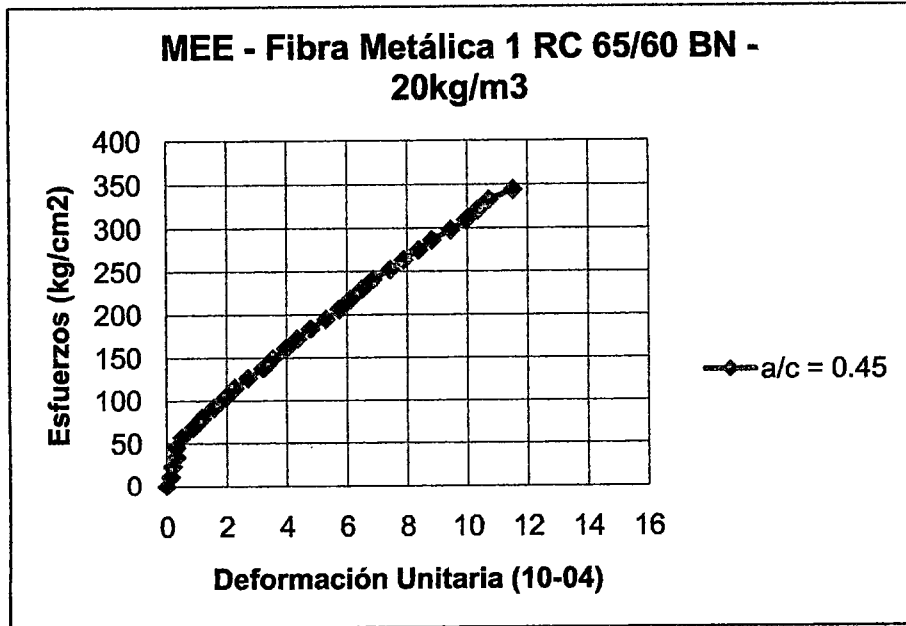
S2  
S1 MEE = 294183.8 Kg/cm2



S	deformación
104	2.0E-04
139	3.3E-04
57	5.0E-05

$$MEE = \frac{82.24}{2.8E-04}$$

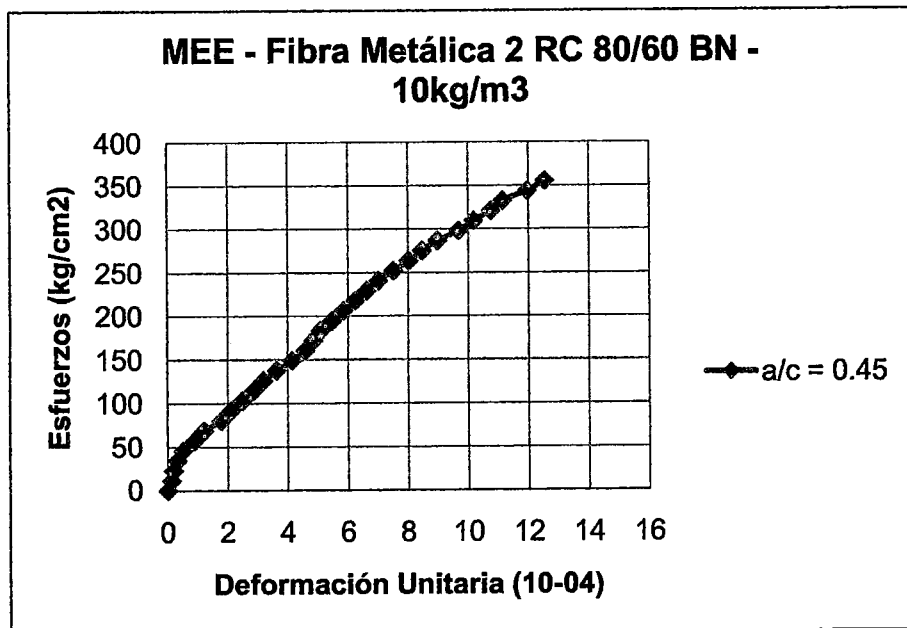
S2  
S1 MEE = 293728.52 Kg/cm2



S	deformación
105	2.0E-04
140	3.276E-04
57	5.0E-05

$$MEE = \frac{82.79}{2.776E-04}$$

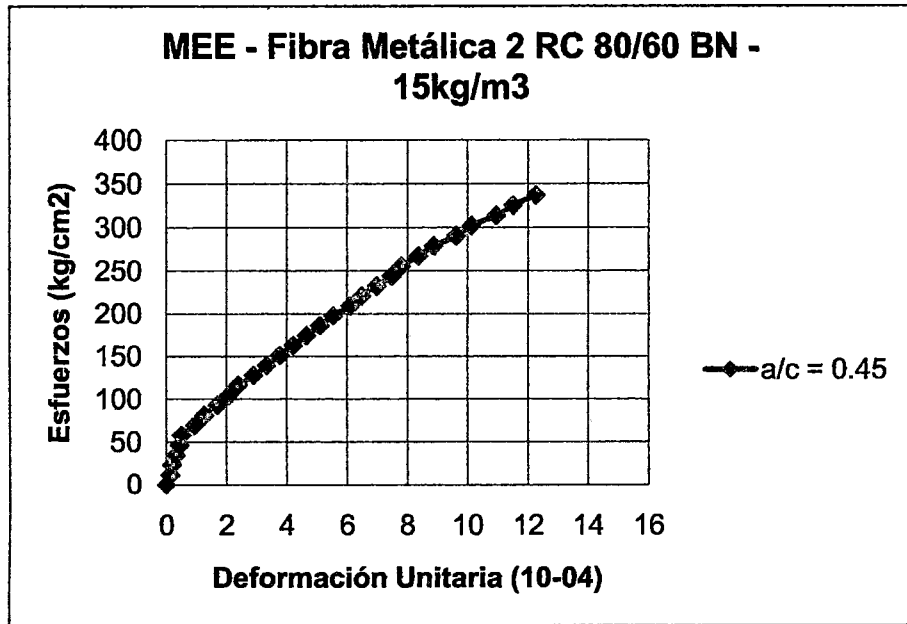
S2  
S1 MEE = 298233.25 Kg/cm2



S	deformación
89	2.0E-04
144	3.901E-04
46	5.0E-05

$$MEE = \frac{98.18}{3.401E-04}$$

S2  
S1 MEE = 288657.97 Kg/cm2

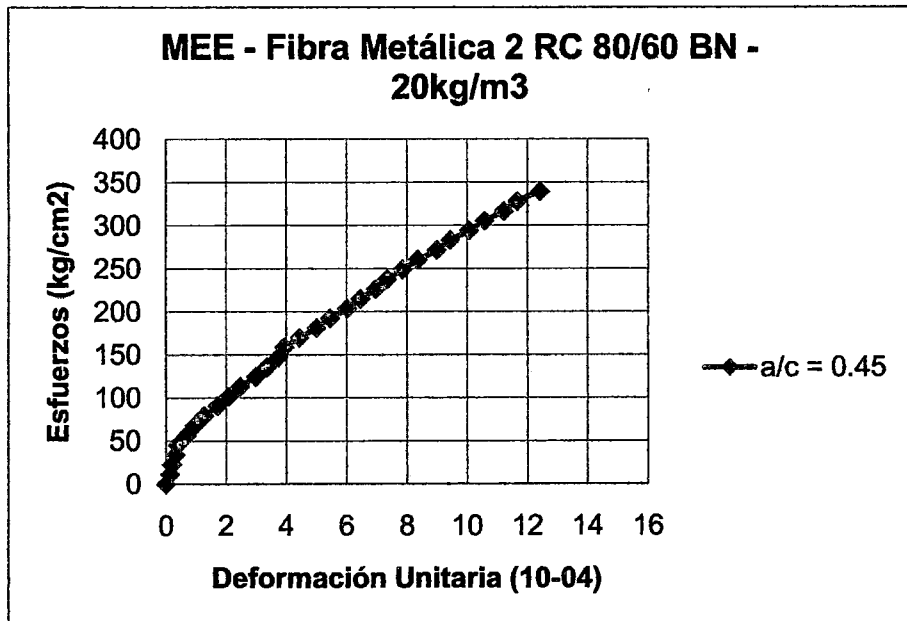


S	deformación
102	2.0E-04
134	3.114E-04
58	5.0E-05

$$MEE = \frac{76.16}{2.614E-04}$$

S2

$$S1 \quad MEE = 291375.61 \text{ Kg/cm}^2$$

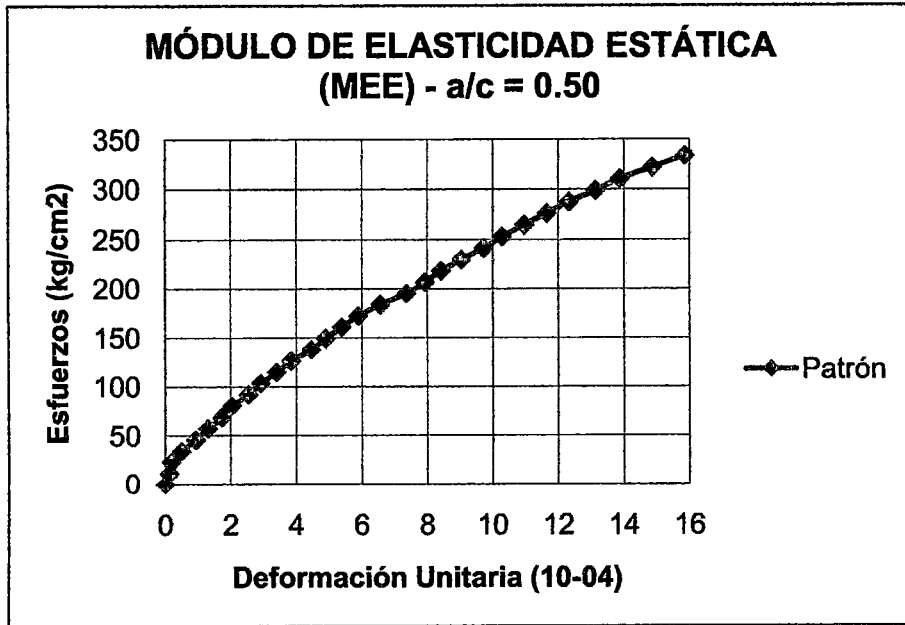


S	deformación
99	2.0E-04
142	3.557E-04
50	5.0E-05

$$MEE = \frac{92.21}{3.057E-04}$$

S2

$$S1 \quad MEE = 301627.89 \text{ Kg/cm}^2$$

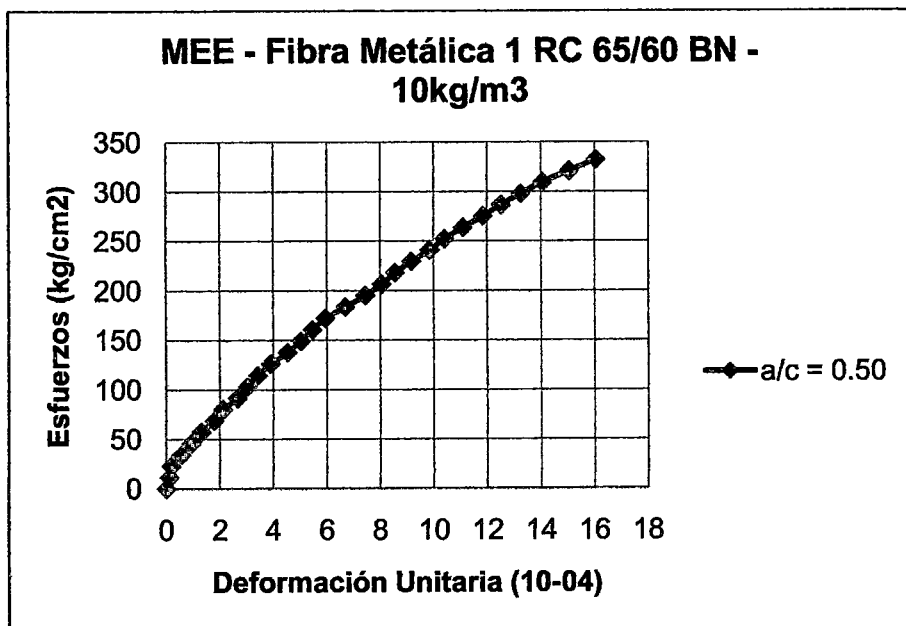


S	deformación
79	2.0E-04
144	4.65E-04
35	5.0E-05

$$MEE = \frac{109.47}{4.15E-04}$$

S2

$$S1 \quad MEE = 263752.09 \text{ Kg/cm}^2$$



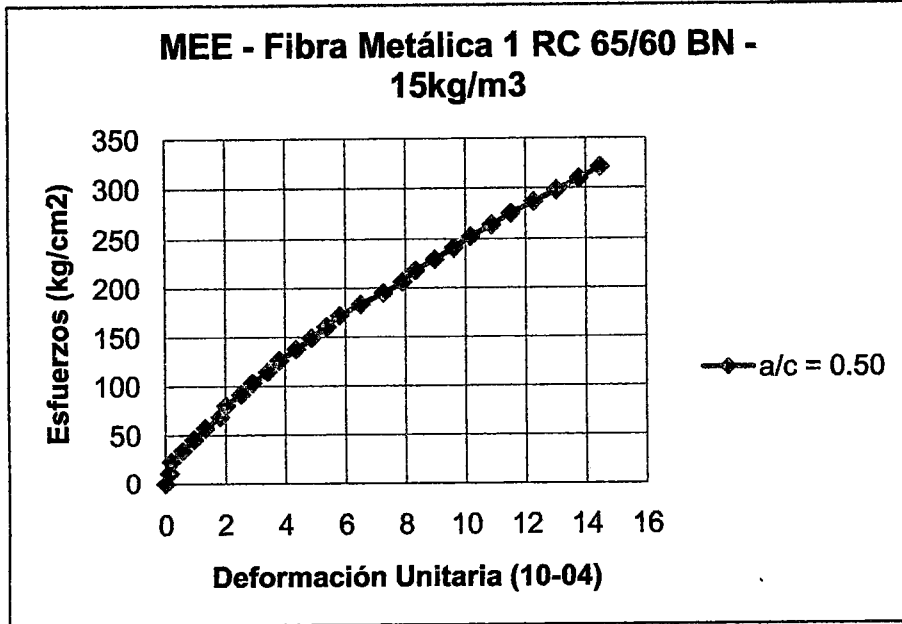
S	deformación
76	2.0E-04
133	4.266E-04
33	5.0E-05

$$MEE = \frac{100.25}{3.766E-04}$$

S2

$$S1 \quad MEE = 266228.96 \text{ Kg/cm}^2$$

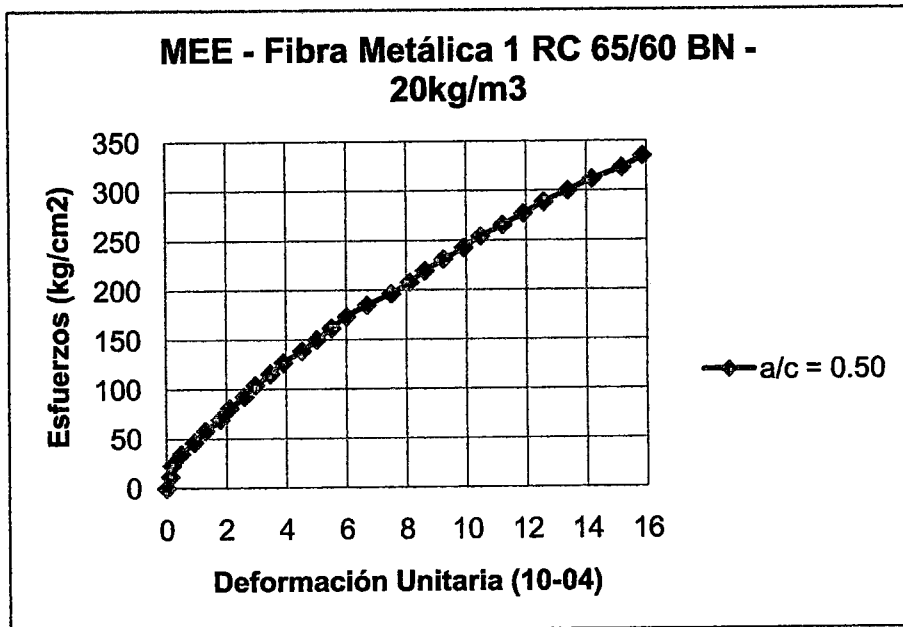




S	deformación
79	2.0E-04
131	4.028E-04
32	5.0E-05

$$MEE = \frac{98.62}{3.528E-04}$$

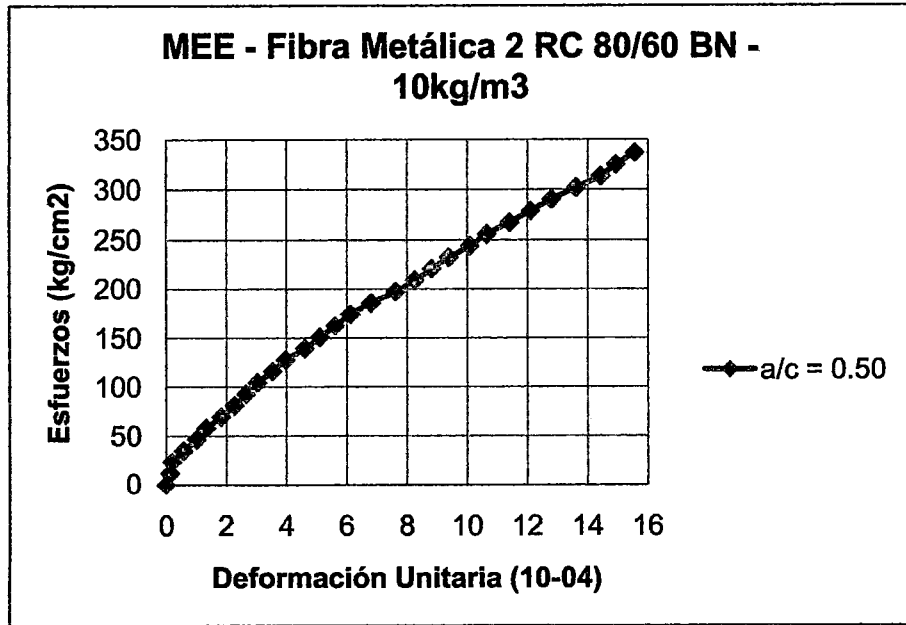
S2  
S1 MEE = 279531.02 Kg/cm2



S	deformación
77	2.0E-04
135	4.35E-04
35	5.0E-05

$$MEE = \frac{100.6}{3.85E-04}$$

S2  
S1 MEE = 261284.74 Kg/cm2



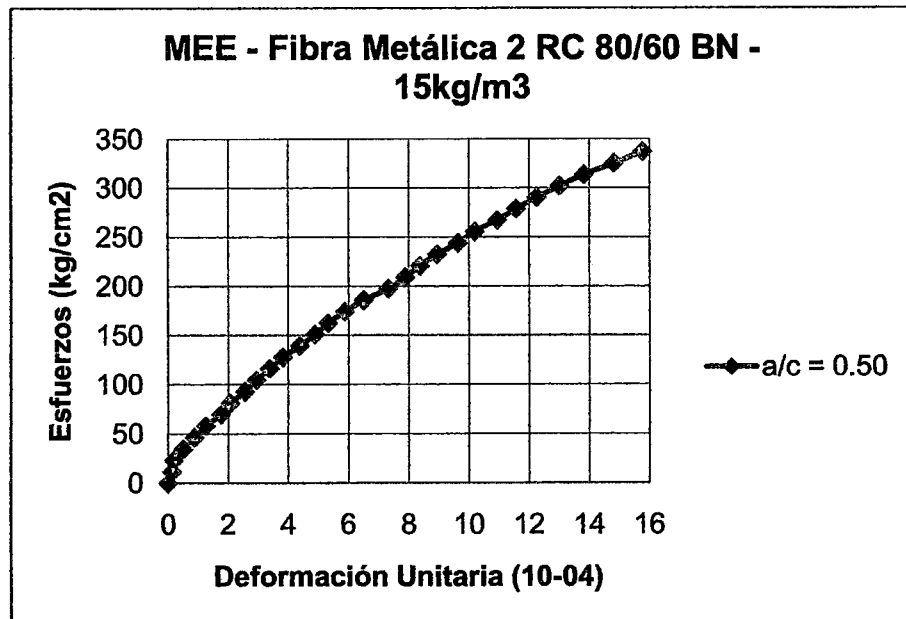
S	deformación
74	2.0E-04
135	4.339E-04
33	5.0E-05

$$MEE = \frac{101.57}{3.839E-04}$$

S2

$$MEE = 264578.62 \text{ Kg/cm}^2$$

S1



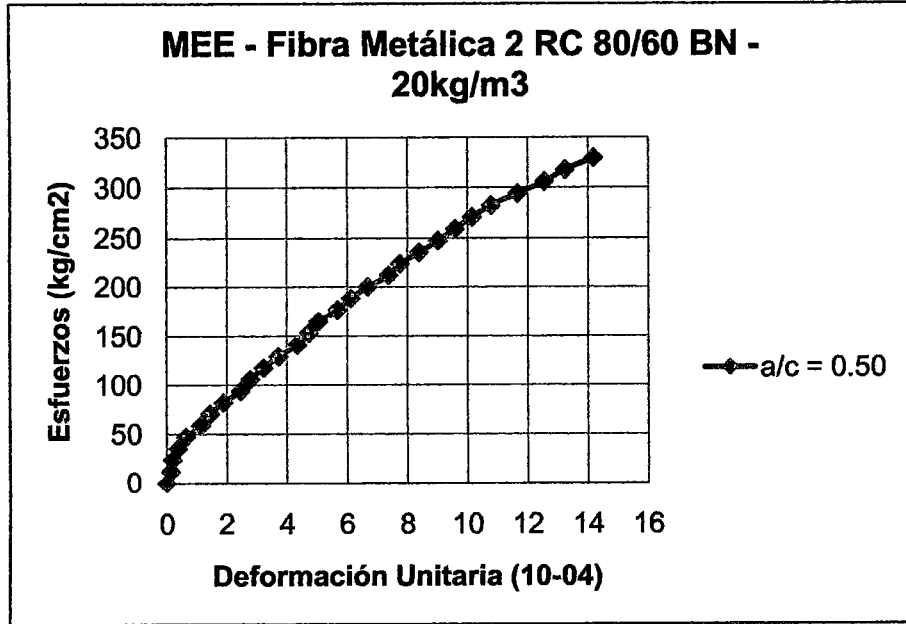
S	deformación
79	2.0E-04
134	4.133E-04
35	5.0E-05

$$MEE = \frac{99.57}{3.633E-04}$$

S2

$$MEE = 274037.31 \text{ Kg/cm}^2$$

S1



S	deformación
85	2.0E-04
132	3.853E-04
41	5.0E-05

S2

$$MEE = \frac{91.09}{3.353E-04}$$

S1

$$MEE = 271681.08 \text{ Kg/cm}^2$$

# **ANEXO E**

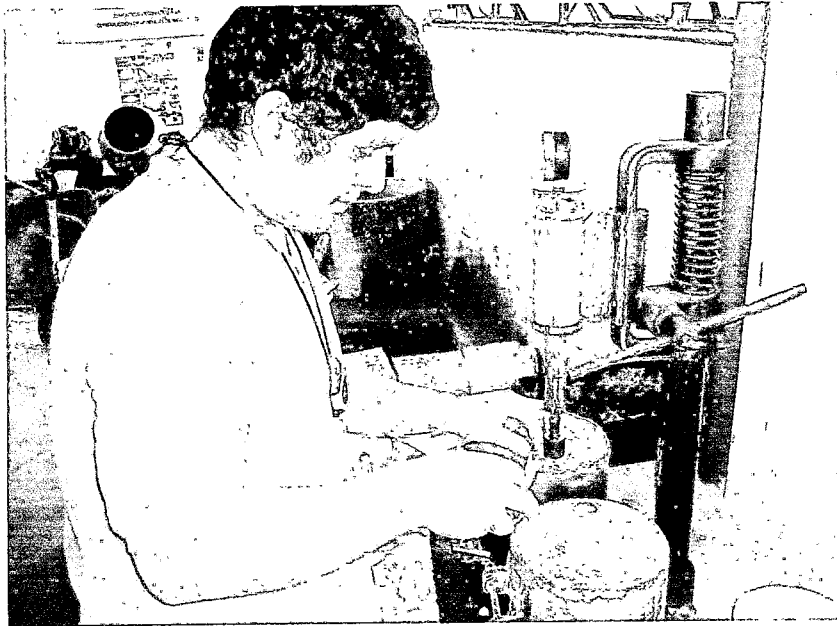
### VACIADO DE LAS PROBETAS Y VIGAS



### MEDICIÓN DE LA FLUIDEZ



### ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO



### COLOCACIÓN DE LAS PROBETAS EN LA POZA DE CURADO



## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Carro lleno de probetas para ser ensayadas a la compresión



Se aprecia la fractura en la probeta de concreto, ensayada a la compresión, y que no explota



**LAS PROBETAS DEL CONCRETO PATRÓN EXPLOTAN, A DIFERENCIA DE LAS PROBETAS CON FIBRAS METÁLICAS, EL NÚCLEO NO REVIENTA**



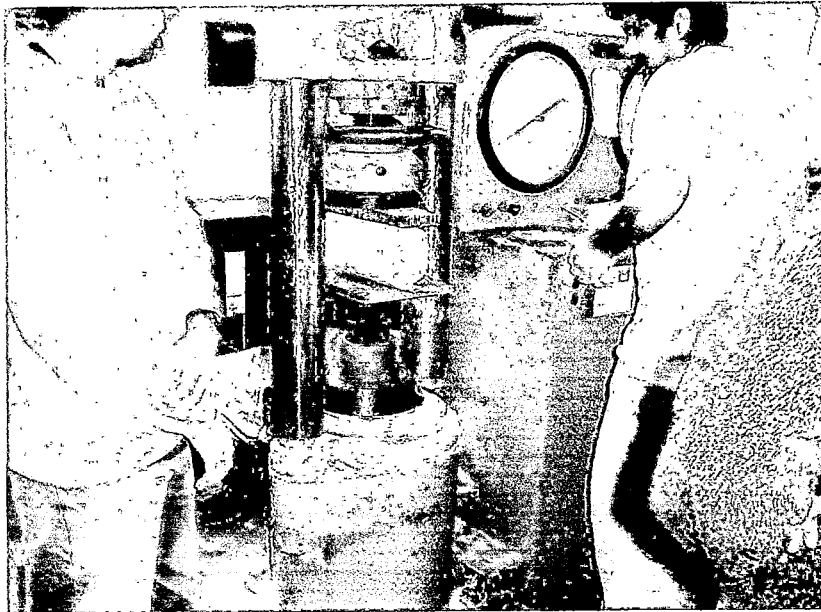
Se aprecia que la probeta de concreto con fibras metálicas no explota al ser ensayada a la compresión



La probeta de concreto sin fibras metálicas, explosiona, y cuando menor sea la relación a/c, mayor será la resistencia y mayor será la explosión



## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL



Se aprecia la colocación de la probeta, lista para ser ensayada



Se muestra una probeta de concreto con fibras metálicas, la cual fue ensayada a la tracción por compresión diametral, y siguió cargándose la máquina para observar cómo es que al tener dicha fibra de refuerzo, la probeta no se partía.

### ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se coloca la viga y se realiza el ensayo, y será válido si es que la viga se parte en el tercio central

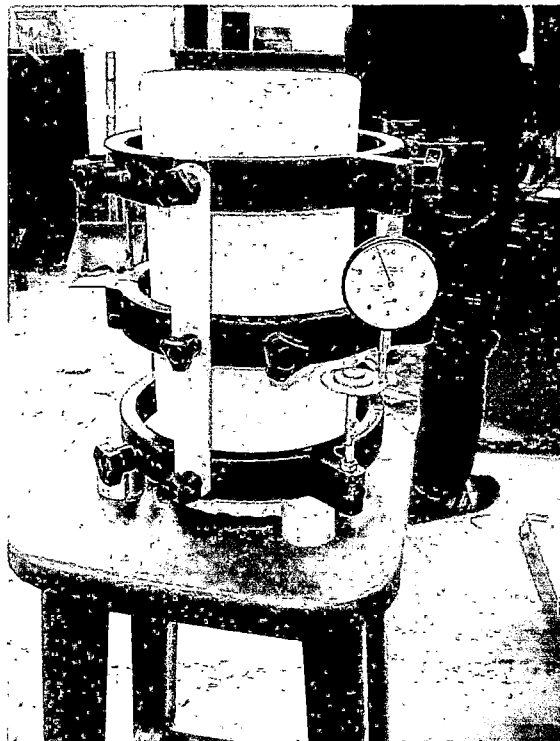


Se aprecia que la falla en la viga ha sido en el tercio central.

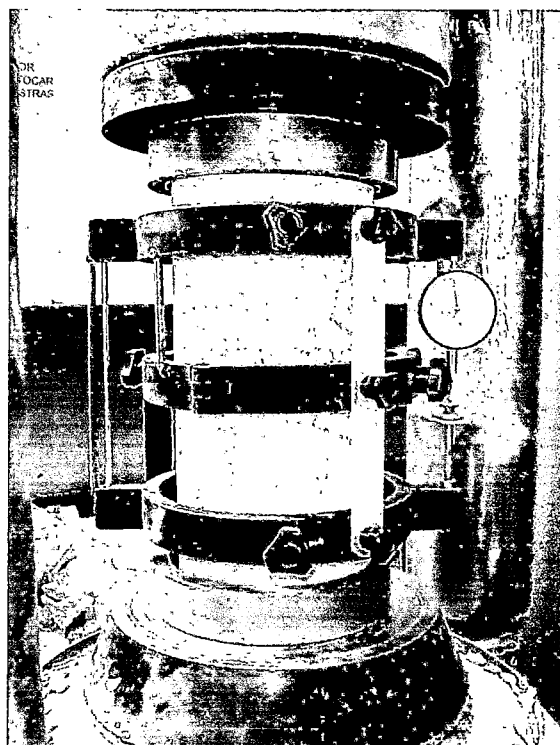


## ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

Preparación de la probeta, con las celdas para realizar el ensayo del módulo de elasticidad



Se coloca la probeta a ser ensayada, en la máquina de compresión y se procede a ensayar, y leer los datos de los deformímetros.



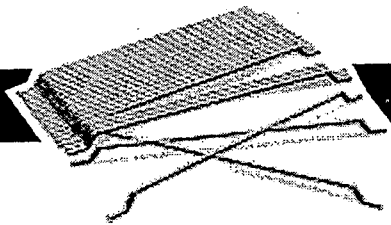
## ANILLOS DE FISURACIÓN

Vaciado de los anillos  
en moldes cilíndricos,  
para medir el tiempo  
en que aparecen las  
fisuras

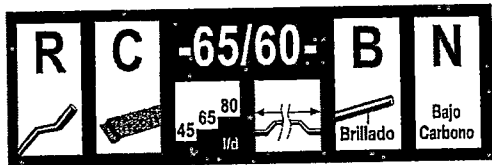


Se aprecian los  
anillos, para  
medición de la  
fisuración en el  
concreto



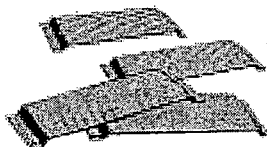


# Dramix®



## Descripción:

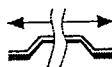
Las fibras Dramix® son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes, para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos. El Dramix® RC-65/60-BN es una fibra de alambre estirado en frío, con extremos conformados y encolados en peines.



## Aplicaciones:

- losas sobre pilotes
- soleras industriales
- losas vibrocompactadas
- capas de compresión
- soleras impermeables a los líquidos
- pilotes

## Geometría:



Longitud (l)  
60 mm



Diámetro (d)  
0,90 mm

65	Comportamiento Clase: 65
	Aspecto o esbeltez (= l/d): 67
3200 fibras/kg	

## Resistencia a tracción:

- del alambre: 1000 N/mm<sup>2</sup>
- bajo carbono conforme a EN 10016-2 - C9D

## Revestimiento: Ninguno

## Certificados de aprobación:

Conforme a **ASTM A820**

Sistema de calidad en las Plantas de Bélgica, Brasil, República Checa, Turquía y China



Producto

Bélgica

**ATG 04/1857**

Producto

Polonia

**AT-15-2117/2001**

Países Bajos



**22702**

Rumania

**007-01/068-2003**

Turquía

**TS 10513**

Alemania

**Z-3.71-1745**

República Checa

**C.070-021415**

República Eslovaca

**1402A/02/0771/1/C/C04**

## Datos técnicos:

Para soleras industriales, soleras sobre pilotes vibrocompactados, ... solicitar documentación específica.

## Recomendaciones - mezclado

### 1. General

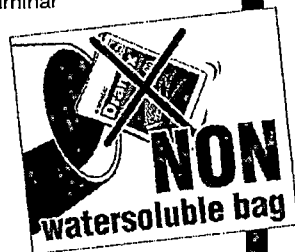
- ✓ preferiblemente añadir las fibras en la mezcladora de la planta hormigonera
- ✓ dosificación máxima recomendada:

Tamaño de los áridos (mm)	Dosificación (kg/m <sup>3</sup> )	
	vertido	bombeado
8	110	80
16	70	55
32	60	45

- ✓ es preferible una graduación continua
- ✓ mezclar hasta que todas las fibras se separen en fibras individuales. Las fibras no aumentan el tiempo de mezclado significativamente
- ✓ si se emplean cementos especiales o aditivos, se recomienda un ensayo preliminar

### 2. Adición de fibras

Los sacos no son degradables y no deben echarse en el hormigón



#### 2.1. En la mezcladora de la planta

- ✓ no añadir nunca las fibras como primer componente en la mezcladora
- ✓ la fibras pueden introducirse junto con la arena y los áridos o pueden añadirse al hormigón mezclado en fresco

#### 2.2. Camión hormigonera

- ✓ poner la mezcladora a la máxima velocidad: 12-18 rpm
- ✓ ajustar el cono a un mínimo de 12 cm (preferiblemente con plastificantes o fluidificantes)
- ✓ añadir fibras con una velocidad máxima de 60 kg/min
- ✓ equipo opcional: elevador montacargas
- ✓ después de añadir las fibras, continuar mezclando a alta velocidad, durante 4-5 minutos (± 70 rotaciones)

#### 2.3. Dosificación automática

- ✓ las fibras a granel pueden dosificarse en proporciones de hasta 3,5 kg/seg. con un equipo dosificador especialmente desarrollado

## Recomendaciones - almacenaje



Proteger los palets contra la lluvia



No apilar los palets uno encima de otro

Suministrado en



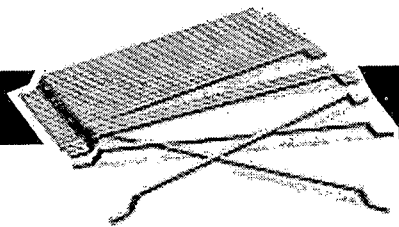
sacos no solubles en agua de 20 kgs sobre palet de 1200. kgs



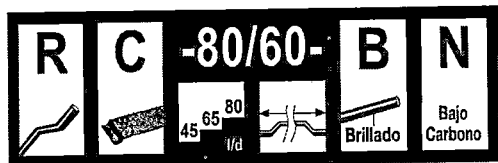
big-bags de 1100 kgs

Bekaert Industrias del Ubierna, S.A. - Travesera de Gracia N°30, 3°C - 08021 Barcelona - Tel. 0034932419003 / 0034932419006 - Fax 0034932092181 - www.bekaert.com/building

N.V. Bekaert S.A. - Bekaertstraat 2 - 8550 Zwevegem - Belgium  
Tel. +32 (0) 56 / 76 69 86 - Fax +32 (0) 56 / 76 79 47 - www.bekaert.com/building  
Reservado el derecho de modificaciones. Todos los detalles describen nuestros productos solo de forma general. Para pedidos y cálculos se deben usar únicamente las especificaciones y documentos oficiales. © N.V. Bekaert S.A. 2005.

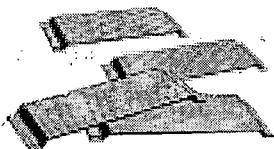


# Dramix®



## Descripción:

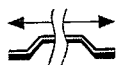
Las fibras Dramix® son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes, para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos. El Dramix® RC-80/60-BN es una fibra de alambre estirado en frío, con extremos conformados y encolados en peines.



## Aplicaciones:

- soleras sin juntas
- losas de terreno suspendidas
- soleras sin juntas sobre pilotes vibrocompactados
- soleras industriales
- losas sobre pilotes vibrocompactados
- soleras impermeables a los líquidos
- capas de compresión
- pavimentos
- dovelas

## Geometría:



Longitud (l)  
60 mm



Diámetro (d)  
0,75 mm

<b>80</b>	Comportamiento Clase: 80
	Aspecto o esbeltez (= l/d): 80
4600 fibras/kg	

## Resistencia a tracción:

- del alambre: mínimo 1050 N/mm<sup>2</sup>
- bajo carbono conforme a EN 10016-2 - C9D

## Revestimiento: Ninguno

## Certificados de aprobación:

Conforme a  
**ASTM A820**

Producto

Bélgica

**ATG 04/1857**

Países Bajos



Turquía

**TS 10513**

República Checa

**C.070-021415**

Sistema de calidad en las Plantas de Bélgica, Brasil, República Checa, Turquía y China



Producto

Polonia

**AT-15-2117/2001**

Rumanía

**007-01/068-2003**

Alemania

**Z-3.71-1745**

República Eslovaca

**1402A/02/0771/1/C/C04**

## Datos técnicos:

Para soleras industriales, soleras sobre pilotes vibrocompactados, soleras sin juntas... solicitar documentación específica.

## Recomendaciones - mezclado

### 1. General

- ✓ preferiblemente añadir las fibras en la mezcladora de la planta hormigonera
- ✓ dosificación máxima recomendada:

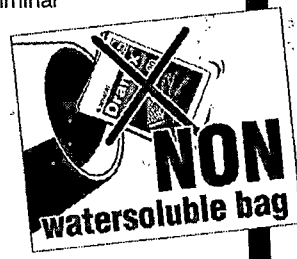
Tamaño de los áridos (mm)	Dosificación (kg/m <sup>3</sup> )	
	vertido	bombeado
8	60	45
16	50	35
32	35	30

- ✓ es preferible una graduación continua
- ✓ mezclar hasta que todas las fibras se separen en fibras individuales. Las fibras no aumentan el tiempo de mezclado significativamente
- ✓ si se emplean cementos especiales o aditivos, se recomienda un ensayo preliminar



### 2. Adición de fibras

Los sacos no son degradables y no deben echarse en el hormigón



#### 2.1. En la mezcladora de la planta

- ✓ no añadir nunca las fibras como primer componente en la mezcladora
- ✓ la fibras pueden introducirse junto con la arena y los áridos o pueden añadirse al hormigón mezclado en fresco

#### 2.2. Camión hormigonera

- ✓ poner la mezcladora a la máxima velocidad: 12-18 rpm
- ✓ ajustar el cono a un mínimo de 12 cm (preferiblemente con plastificantes o fluidificantes)
- ✓ añadir fibras con una velocidad máxima de 40 kg/min
- ✓ equipo opcional: elevador montacargas
- ✓ después de añadir las fibras, continuar mezclando a alta velocidad, durante 4-5 minutos (± 70 rotaciones)

#### 2.3. Dosificación automática

- ✓ las fibras a granel pueden dosificarse en proporciones de hasta 3,5 kg/seg. con un equipo dosificador especialmente desarrollado

## Recomendaciones - almacenaje

<p>Proteger los palets contra la lluvia</p>	<p>No apilar los palets uno encima de otro</p>	<p>Suministrado en</p> <p>sacos no solubles en agua de 20 kgs sobre palet de 1200 kgs</p> <p>big-bags de 1100 kgs</p>
---	--	---

Bekaert Industrias del Ubierna, S.A. - Travesera de Gracia N°30, 3°C - 08021 Barcelona - Tel. 0034932419003 / 0034932419006 - Fax 0034932092181 - www.bekaert.com/building

N.V. Bekaert S.A. - Bekaertstraat 2 - 8550 Zwevegem - Belgium  
Tel. +32 (0) 56 / 76 69 86 - Fax +32 (0) 56 / 76 79 47 - www.bekaert.com/building

Reservado el derecho de modificaciones. Todos los detalles describen nuestros productos solo de forma general. Para pedidos y cálculos se deben usar únicamente las especificaciones y documentos oficiales. © N.V. Bekaert S.A. 2005.

## Measurement and modeling of gas transfer in cracked mortars

M. Ismail · R. Gagné · R. François · A. Toumi

Received: 07 September 2004 / Accepted: 22 February 2005  
© RILEM 2006

**Abstract** The research aims at better understanding the parameters controlling air flow through cracked cementitious material elements. Rizkalla et al. proposed a model that describe gas transport in a cracked concrete element subjected to a pressure gradient. The model includes a flow coefficient,  $n$  and a friction coefficient,  $k$  that must be determined experimentally. Equations giving the values of  $n$  and  $k$  were proposed by experimentally analysing air leakage through multi-cracked reinforced concrete panels. This paper aims at validating the model proposed by Rizkalla et al. by analysing the air flow in a single defined crack generated in mortar samples (normal- and high-strength). A permeability cell was developed to measure airflow through a single cracks under controlled conditions. The results confirm the validity of Rizkalla's model. The approach based on single crack measurements has show that, for all the considered cases, airflow in cracks was largely laminar. This lead to a simplification of Rizkalla model and the development of a simple equation that gives air flow as a function of crack geometry, pressure gradient and friction coefficient only. No effect of type of mortar matrix was found on the airflow through a crack.

**Résumé** Cette recherche vise à mieux comprendre les transferts gazeux dans les matrices cimentaires fissurées. Rizkalla et coll. ont développé un modèle décrivant l'écoulement gazeux dans un élément en béton soumis à un gradient de pression. Le modèle comporte un coefficient d'écoulement,  $n$  et un coefficient de friction  $k$  qui doivent être obtenus expérimentalement. L'analyse des débits de fuite au travers de panneaux de béton armé multifissurés a permis de dégager expérimentalement des équations permettant d'obtenir  $n$  et  $k$ . Cet article vise à valider le modèle de Rizkalla et coll. en analysant les débits de fuite au travers d'une seule fissure engendrée dans des éprouvettes de mortier (normal et à haute résistance). Une cellule de mesure a été conçue à cet effet. Les résultats confirment la validité du modèle de Rizkalla et coll. L'approche, basée sur l'analyse d'une seule fissure, a permis de constater que toutes les conditions d'essais ont engendré un écoulement laminaire. Pour ce type d'écoulement, on a montré qu'on peut simplifier le modèle de Rizkalla pour obtenir une équation qui exprime le débit de fuite en fonction de la géométrie de la fissure, du gradient de pression et du coefficient de friction. En régime laminaire, les débits de fuite n'ont pas été influencés par le type de mortier.

M. Ismail · R. Gagné  
CRIB, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Canada

M. Ismail · R. François · A. Toumi  
LMDC, UPS – INSA Toulouse, France



### 1. Introduction

Cracks can arise during the entire life span of a concrete structure. They can be induced by mechanical,

thermal or physico-chemical causes [1]. Cracks act as preferential channels for the penetration of different types of potentially aggressive agents (such as liquids, gases, and ions). In the case of concrete containment structures, cracks may lead to leakage of contaminated air or steam. The effect of cracks on the general durability and on the transfer properties of concrete has been reported in many publications [1].

Riva et al. have done a comprehensive review and a detailed experimental validation of a number of models developed to predict the gas leakage through cracked concretes [2]. Their results show that, among the model considered, the leak rate prediction formula given by Rizkalla et al. [3] provides the best fitting of experimental results. The model proposed by Rizkalla et al. gives the total air leakage ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) through a multi-cracked concrete element as a function of the sum of  $W_i^3$  where  $W_i$  is the crack opening of an individual crack. The model includes a flow coefficient ( $n$ ) and a wall roughness coefficient ( $k$ ) that must be determined experimentally. These two coefficients are affected by crack geometry and relative rugosity of the crack walls. Empirical equations were proposed to express the values of  $n$  and  $k$  as a function of the sum of  $W_i^3$ . These equations were obtained by analyzing the airflow through a cracked reinforced concrete panel having numerous cracks with a range of openings and lengths.

The goal of this study is to determine the values of  $n$  and  $k$  by analyzing airflow in a single defined crack of precisely known geometry (opening, length, extend). The study also aims to determine if values of  $n$  and  $k$  are affected by the type of cementitious matrix (normal and high-strength mortars). As noted by several researchers, high-strength matrix tends to produce smoother crack surfaces that propagate through aggregates particles [4, 5]. This may affect the relative rugosity of the crack wall and, consequently, the roughness coefficient of the crack.

The validation of the model and the experimental determination of  $n$  and  $k$  was achieved with an experimental program involving the development of a test cell allowing the measurement of air flow in a single defined crack under controlled conditions. The two types of mortar samples were subjected to controlled tensile cracking using a mechanical expansive core developed by Gagné et al. [6].

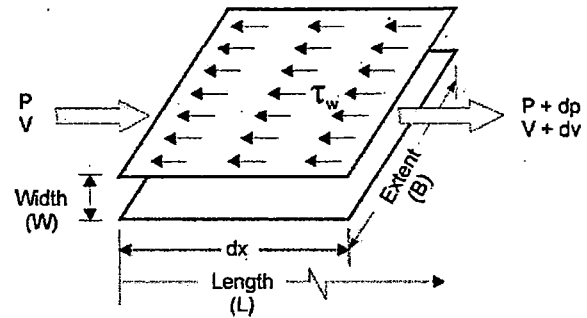


Fig. 1 Schematic of crack between two parallel plates.

## 2. Modelization of air flow in a crack

Airflow in a concrete crack can be idealized by considering the flow of a gas between two parallels plates. Let consider an infinitesimal element of an idealized crack having a constant opening ( $W$ ), a constant extent ( $B$ ), and a length of ( $dx$ ) (Fig. 1). A simplified mathematical model can be developed by analyzing the stresses and pressures acting on this infinitesimal element. The airflow is assumed isothermal, uniform and steady. The following mathematical development is adapted from the model proposed by Rizkalla et al. [3].

The momentum-balance theorem states that the summation of forces must equal the change of momentum [7, 8]:

$$PA - (P + dP)A - \tau_w dA_w = \rho VA(V + dV) - \rho VA(V) \quad (1)$$

Simplifying gives:

$$-AdP - \tau_w dA_w = \rho VAdV \quad (2)$$

where:

- P: Gas pressure at any section (Pa)
- V: Gas velocity at any section (m/s)
- W: Crack width (m)
- B: Extent of the crack (m)
- L: Crack length (m)
- A: Section of flow =  $BW$  ( $\text{m}^2$ )
- $A_w$ : Wetted area =  $2Bdx$  ( $\text{m}^2$ )
- $\tau_w$ : Shear stress due to wall friction (Pa)
- $\rho$ : Mass air density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

From the mass conservation equation:

$$\frac{W_F}{A} = \rho V \quad (3)$$



where  $W_F$  is the mass flow (kg/s). Combining Equations (3) and (2) gives:

$$-AdP - \tau_w dA_w = W_F dV \quad (4)$$

The shear stress  $\tau_w$  can be expressed in the terms of velocity  $V$ , mass air density  $\rho$  and a dimensionless friction factor  $f$  [7]:

$$f = 4 \frac{2\tau_w}{\rho V^2} \quad \text{or} \quad \tau_w = \frac{f\rho V^2}{8} \quad (5)$$

Combining Equation (5) and (4) gives:

$$-AdP - \frac{f\rho V^2}{8} dA_w = W_F dV \quad (6)$$

The integration of Equation (6) along the length of crack in the direction of flow  $L$  gives Equation (7). The mathematical development of the integration, that is too complex to be presented in this paper, can be found elsewhere [8, 9]:

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{fL}{2W} \frac{P_2^2}{RT} \frac{Q_2^2}{B^2 W^2} \quad (7)$$

where:

- $P_1$ : Upstream gas pressure (Pa)
- $P_2$ : Downstream gas pressure (Pa)
- $R$ : Gas constant
- $T$ : Absolute temperature (K)
- $Q_2$ : Rate of flow of air at the end of crack ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

The friction factor  $f$  depends on the Reynolds number  $Re$  and a dimensionless friction coefficient  $k$ . The friction factor can be expressed in general for both laminar and turbulent flow as [3, 10]:

$$f = \left[ \frac{k}{Re} \right]^n \quad (8)$$

where  $n$  is the flow coefficient. For laminar flow,  $n = 1$  and the friction factor is independent of the relative roughness of the wall. It only depends on the cross sectional shape of the wetted perimeter [7]. For an idealized circular cross section, the friction coefficient has a value of 64. For an idealized cross section made of two flat parallel plates, the friction coefficient has a value of 96 [7].

The Reynolds number can be expressed by:

$$Re = \frac{\rho_2 V_2 D}{\mu_2} \quad (9)$$

where:

- $V_2$ : Air velocity at the end of crack (m/s)
- $\mu_2$ : Dynamic viscosity ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )
- $D$ : Hydraulic diameter (m)

The hydraulic diameter is defined as four times the cross section divided by the wetted perimeter. In the case where  $B$  is much greater than  $W$ :

$$D = 2W \quad (10)$$

From the law of perfect gas, applied to the particular case of air ( $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ):

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (11)$$

Combining Equations (9–11) in Equation (8) gives:

$$f = \left[ \frac{k\mu_2 (RT)}{2P_2 V_2 W} \right]^n \quad (12)$$

$V_2$  can be expressed by:

$$V_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_2}{WB} \quad (13)$$

Combining Equations (13) and (12) in Equation (7) gives:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = \left( \frac{k^n}{2} \right) \left( \frac{\mu_2}{2} \right)^n (RT)^{n-1} \left( \frac{Q_2 P_2}{B} \right)^{2-n} \frac{1}{W^3} \quad (14)$$

Equation (14), proposed by Rizkalla et al., is a general relationship between the airflow at the crack outlet  $Q_2$ , the geometric properties of the crack ( $L$ ,  $B$ ,  $W$ ), and the flow parameters ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $T$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $n$ ). All these variables, except  $k$  and  $n$ , can be obtained by direct experimental measurements. The friction coefficient  $k$  is dependent on the shape of the crack and the coefficient  $n$  depends on the level of turbulence. These two coefficients can be determined experimentally by analyzing sets of experimental data obtained in controlled conditions in which  $Q_2$  is measured for various values of  $P_1$ ,  $P_2$  and  $W$ .



Let:

$$P_g = \frac{P_1^2 - P_2^2}{L} \quad (15)$$

$$C = \left(\frac{k^n}{2}\right) \left(\frac{\mu}{2}\right)^n (RT)^{n-1} \frac{1}{W^3} \quad (16)$$

$$m = 2 - n \quad (17)$$

Substituting Equations (15–17) in Equation (14) gives:

$$P_g = C \left[ \frac{P_2 Q_2}{B} \right]^m \quad (18)$$

Equation (18) indicates that there is linear relationship between  $\log(P_g)$  and  $\log(P_2 Q_2/B)$ . Therefore, the value of  $m$ , and the associate value  $n$ , can be determined from the slope of experimental relationships between  $\log(P_g)$  and  $\log(P_2 Q_2/B)$ .

After determining the flow coefficient  $n$  it is then possible to obtain the friction coefficient  $k$ . The friction coefficient is simply isolated from Equation (14) and computed by inserting experimental values of  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $n$ ,  $Q_2$  and  $W$ .

### 3. Experimental measurements of air flow in cracked mortar specimens

An experimental program was designed to validate the proposed model and to experimentally determine the two unknown coefficients  $n$  and  $k$  included in Equation (14). According to the model, both coefficients are not constant but should vary with  $W$  since the flow coefficient is linked to the level of turbulence, which is controlled by the crack opening. The friction coefficient is directly linked to the shape of the cross section. Therefore, to determine  $n$  and  $k$ , the experimental setup must allow the direct measurement of airflow in cracks of various controlled openings generated in mortar samples.

Two types of mortars, having water/cement ratios of 0.45 and 0.35, were tested in order to produce crack with different cross sectional shapes. Lower strength cementitious matrix tends to produce more rugged fracture plans that bypass fine and coarse aggregates particles while higher strength matrix tends to produce smooth fractures that cross aggregates particles [4, 10].

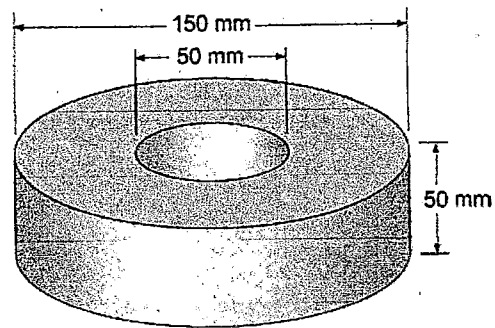


Fig. 2 Dimensions of the mortar sample.

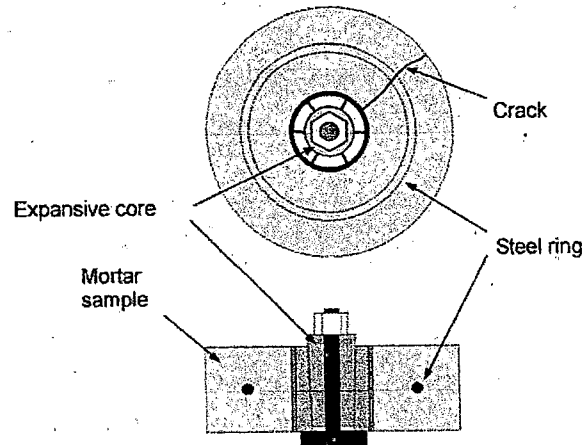


Fig. 3 Mortar sample, embedded steel ring and expansive core.

#### 3.1. Test specimens

Test specimens consist in disk-shape mortar samples having a thickness of 50 mm and an external diameter of 150 mm (Fig. 2). A special cylindrical mold, having a 50 mm-diameter Teflon insert is used to produce a doughnut-shaped sample [6]. The purpose of the central opening is for the insertion of a mechanical expansive core used to induce a controlled cracking of a mortar sample (Fig. 3). The sample includes an embedded steel ring to simulate a reinforcing bar that balance the internal stresses after cracking. The ring is made of a hot-rolled steel rod having an internal diameter of 95.2 mm and a section diameter of 4.8 mm (reinforcement ratio of 0.72%).

#### 3.2. Expansive core

The mortar samples were submitted to controlled tensile cracking using a mechanical expansive core (Fig. 3). The expansive core is inserted into the sample



hub. The expansive core consists of a conical hardened-steel cylinder that slides within a set of six conical hardened-steel petals. A thin cylindrical PVC jacket holds the petals around the conical cylinder. A high-strength steel bolt and nut are used to force the conical cylinders against the petals. This process causes the diameter of the PVC jacket to increase, which induces deformation of the internal diameter of the mortar sample [6]. Controlled cracking is achieved by adjusting the deformation of the expansive core.

The expansive core can sometime generate more than one crack. To constrain the airflow in a single particular crack, the upstream surface of the sample is sealed with a self-adhesive aluminum foil. The aluminum foil is placed on the entire surface and a thin strip, approximately 10 mm wide, is removed just over the path of the crack.

### 3.3. Gas permeability cell

A gas permeability cell was specifically designed to be loaded with the mortar sample fitted with the expansive core (Fig. 4). This setup allows the direct measurement of airflow through a single or a set of cracks under controlled conditions (temperature, upstream and downstream pressures, crack opening). The cell was designed so that the opening or the number of cracks can be varied during a measurement and without removing the sample from the cell.

The mortar sample is squeezed between two thick aluminum disks. Upstream and downstream pressures can be adjusted with a pressure regulator or a microvalve. A thin porous plastic disk distributes the flow of air over the entire sample surface. Lateral air tightness is achieved by applying a 200 kPa air pressure to compress a tick latex membrane against the sides of the

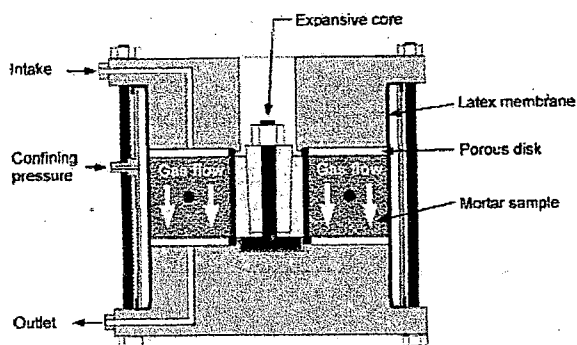


Fig. 4 Air permeability cell assembly.

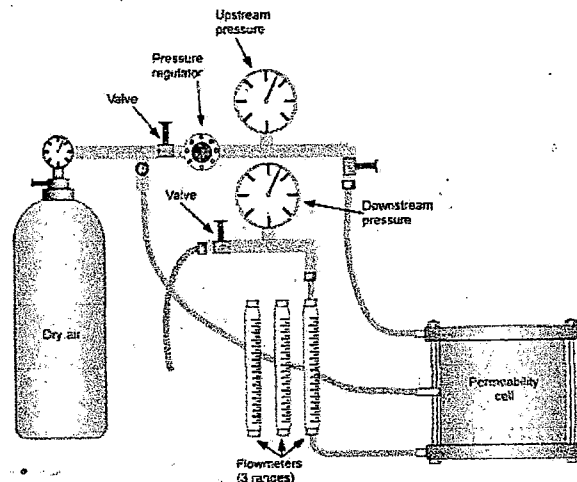


Fig. 5 Air permeability cell with airflow measurement and pressure regulation systems.

sample and the sides of the top and bottom aluminum plates.

The air permeability cell assembly is connected to an upstream compressed air tank equipped with a pressure regulator and a pressure gage (Fig. 5). The upstream gage pressure can be varied in the range of 0 to 100 kPa. The downstream face of the sample is connected to a pressure gage and a microvalve is used to adjust the downstream gage pressure (usually at atmospheric pressure).

Downstream airflow ( $Q_2$ ) was measured with a set of three flowmeters of different measurement ranges. A computer program gives the airflow ( $m^3/s$ ) determined from the type of gas, the temperature and the absolute downstream pressure.

### 3.4. Materials and mixtures

All the mortar samples were fabricated with a Canadian Type 10 normal cement (ASTM Type I). The chemical analysis (Bogue) indicates that the  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , and  $C_4AF$  contents were respectively, 55%, 16%, 7%, and 9%. The fine aggregate was siliceous river sand having a fineness modulus of 2.6. A polynaphthalene-based superplasticizer was used to fabricate the mortars having a water/cement ratio of 0.35.

Two 10-kg batches were used to produce two types of mortar in a 10-liter mortar mixer. A normal strength mortar mixture, having a water/cement ratio of 0.45, was made by mixing 2500 g of cement ( $550 kg/m^3$ ), 6375 g of sand ( $1403 kg/m^3$ ) and 1125 g of water

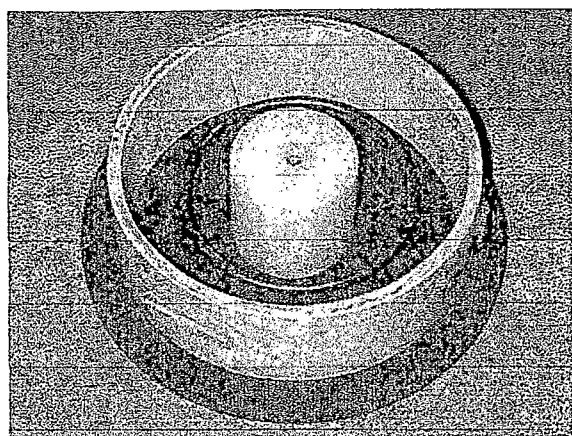


Fig. 6 Cylindrical mold.

( $247 \text{ kg/m}^3$ ). A high strength mortar mixture, having a water/cement ratio of 0.35, was made by mixing 2800 g of cement ( $632 \text{ kg/m}^3$ ), 6220 g of sand ( $1404 \text{ kg/m}^3$ ), 980 g of water ( $221 \text{ kg/m}^3$ ) and 20 ml of superplasticizer ( $4.5 \text{ l/m}^3$ ). Each batches was used to produce 3 disk-shape samples and 6 mortar cubes ( $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ ) for compressive strength measurements.

The normal strength mortar has 7-d and 28-d compressive strengths of 40.2 MPa and 48.3 MPa respectively while the high strength mortar has 7 d and 28 d compressive strengths of 58.4 MPa and 69.2 MPa respectively.

Before casting, the steel ring was tied up in the center of each mold with three short fishing lines (Fig. 6). The molds were filled in one step and vibrated for 30 s on a vibrating table. The fresh mortar surface was leveled and the molds covered with a Plexiglas plate and wet burlap. After 24 hours, the samples were carefully unmolded, to avoid any cracking, and stored in a fog room at  $23^\circ\text{C}$  for 28 days.

### 3.5. Test procedures

During the 28 days curing period, both annular faces of the samples were lapped with a grinding powders (120 grit) to obtain flat and smooth surfaces. Immediately after curing, the specimens were oven dried at  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  until constant mass. After drying, a portable microscope was used to scan the annular faces of all the samples. Observations indicate that no initial cracking was induced by the drying procedure.

The dried specimens were subjected to controlled cracking using the expansive core [6]. Crack opening,

ranging from 40 to  $180 \mu\text{m}$  were produced in both normal and high strength samples. During the cracking process, the sample surfaces (top and bottom) were scanned with a portable microscope to detect crack formation and to measure crack opening. The crack opening is the average of 10 measurements taken along the crack path on each of the annular faces. The expansive core can produce slightly wider cracks, sometimes near the hub and sometimes near the external lateral surface. The crack opening variation is usually less than  $15 \mu\text{m}$ .

The opening of the first and smallest crack produced with the expansive core typically range between 0 and  $50 \mu\text{m}$ . After localizing the crack path on both annular faces, the self-adhesive aluminum foil is placed to constrain the airflow to this first crack. The sample is then placed in the permeability cell to measured the airflow in that crack.

All the permeability tests were performed at a constant downstream gage pressure of 0 kPa (or an absolute atmospheric pressure of  $101 \pm 1 \text{ kPa}$ ). For each crack opening, the upstream gage pressure was varied between 10 to 50 kPa using steps of 10 kPa (absolute pressure ranging from 110 to 160 kPa). After reaching a steady state (usually in less than a minute), the downstream airflow ( $Q_2$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) is computed from the scale readings of the flowmeter, the ambient temperature and the atmospheric pressure.

While keeping the sample in the cell assembly, a socket with an extension is used to tighten the expansive core top nut. This process allows to slowly increase the crack opening while the sample is still in the cell. It is then possible to achieve a crack opening that corresponds to an airflow increase of approximately 25% to 30%. The upstream pressure is varied again (110–160 kPa) and the downstream flow is measured for each flow condition. At this point, the sample must be removed from the cell to measure the new average crack opening on both faces. The entire sequence can be repeated to obtain data with higher crack openings.

## 4. Experimental results

### 4.1. Crack characteristics

Cracks were generated in two normal strength and two high strength mortar samples. The cracking procedure may generate cracks having unequal opening on top and bottom faces. Sample having top and bottom crack

**Table 1** Crack openings in mortar samples

Type of mortar	Sample face	Crack opening ( $\mu\text{m}$ )		Average crack opening ( $\mu\text{m}$ )
		Top	Bottom	
Normal strength	A	42	44	43
		50	69	60
		81	80	81
	B	113	106	110
		52	60	56
		80	77	79
High strength	A	101	103	102
		118	81	100
		176	134	155
	B	175	145	160
		80	135	108
		125	163	144
		163	202	183

openings that differs by more than  $\pm 25\%$  of the average were discarded. This problem is usually associated with misalignment of the steel ring in the mold.

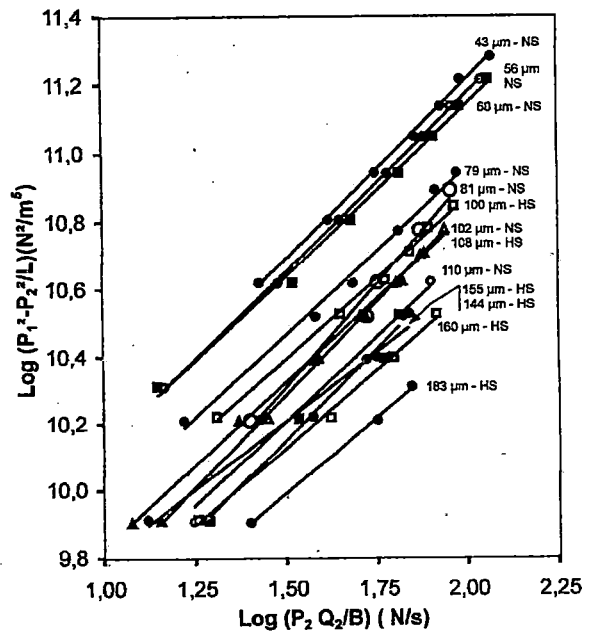
The airflow was restricted to one unique crack per sample. Only the crack opening was varied using the expansive core. Table 1 shows the average crack opening generated in the four samples.

**4.2. Experimental determination of the flow coefficient**

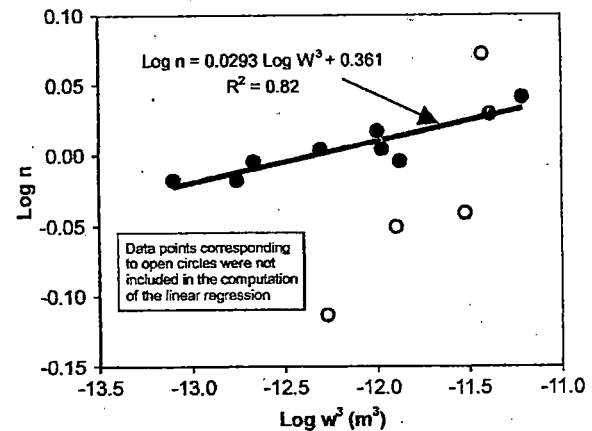
Figure 7 shows the relationships between  $\text{Log}(P_1^2 - P_2^2/L)$  and  $\text{Log}(P_2 Q_2)/B$ . Each relationship was obtained by measuring, for a given crack, the downstream flow  $Q_2$  for various values of  $P_1$ . The results indicate that crack opening is the most important parameter controlling these highly linear relationships. Except for 144  $\mu\text{m}$  and 155  $\mu\text{m}$  crack, the results are organized according to a sequence based on the crack opening. The type of mortar (NS, HS) appears to have no influence on these relationships.

Globally, all series have very similar slopes, except series corresponding to crack opening of 81, 108, 144 and 155  $\mu\text{m}$  that have slightly higher or lower slopes. This is difficult to explain but it may result from undetected micro-leaks occurring flow measurement with cell assembly.

According to the model, the slope of the linear relationship of Fig. 7 gives the value of  $m$ , from which the value of the flow coefficient  $n$  can be computed.



**Fig. 7** Relationship between  $\text{Log}(P_1^2 - P_2^2/L)$  and  $\text{Log}(P_2 Q_2)/B$  for various crack openings and types of mortar (NS – normal strength, HS – high strength).



**Fig. 8** Relationship between the crack opening and the flow coefficient.

Fig. 8 shows the relationship between the crack opening ( $W^3$ ) and the flow coefficient ( $n$ ). When plotted using log scales, most of the data points approximately follows a linear relationship. The correlation coefficient and mathematical equation of the linear regression were computed after excluding data points, obtained from the 81, 108, 144 and 155  $\mu\text{m}$  cracks, that significantly diverge from the general linear trend. These four data points, appears as white dots on Figs. 8 and 9.



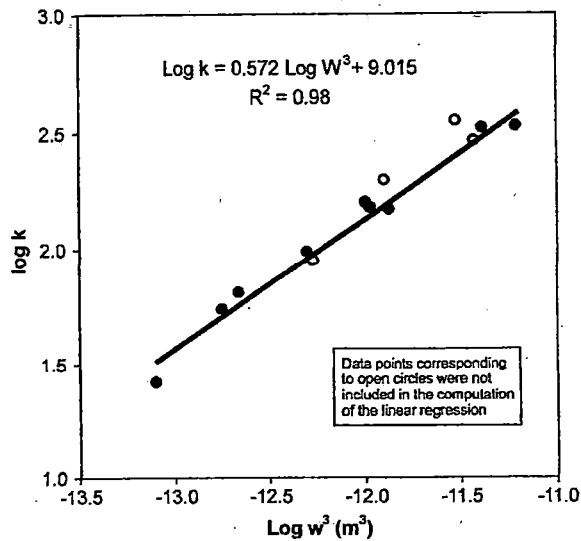


Fig. 9 Logarithmic relationship between the friction coefficient and crack opening.

The mathematical expression of the linear regression of Fig. 8 can be reorganized to give directly the value of the flow coefficient as a function of the crack width expressed in  $\mu\text{m}$ :

$$n = 0.683W^{0.0879} \quad (19)$$

#### 4.3. Experimental determination of the friction coefficient

The friction coefficient ( $k$ ) can be determined after isolating it from Equation (14) and inserting experimental values of  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $n$ ,  $Q_2$  and  $W$ . The logarithmic relationship between  $k$  and  $W^3$  is shown in Fig. 9. The data points corresponding to white dots were not included in the computation of the linear regression. The mathematical expression of the linear regression of Fig. 9 can be reorganized to give directly the value of the friction coefficient as a function of the crack width expressed in  $\mu\text{m}$ :

$$k = 0.0523W^{1.716} \quad (20)$$

#### 4.4. Comparison between measured and predicted air flows

Equation (14) can be used to determine the airflow,  $Q_2$  through a crack of opening  $W$  under given test con-

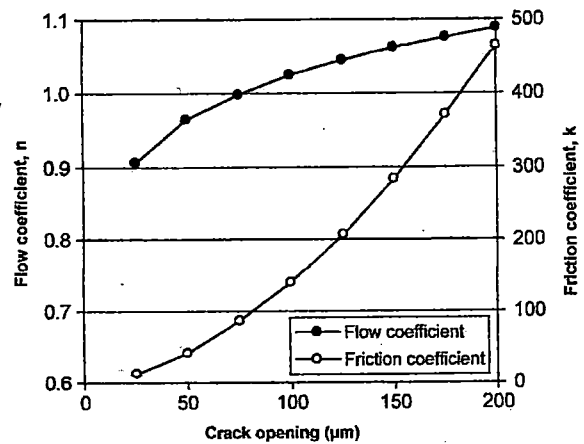


Fig. 10 Values of friction and flow coefficients as a function of crack opening.

ditions ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $L$ ,  $B$ ,  $T$ ). The flow coefficient,  $n$  and the friction coefficients,  $k$  have been determined experimentally and Fig. 10 gives the values of  $n$ , and  $k$  as a function of  $W$ . The curves indicate that, for the considered test conditions,  $n$  ranges from 0.9 to 1.1. According to the proposed model, values of  $n$  approximately equal to 1 correspond to a laminar flow. This can be confirmed by the analysis of experimental data showing that the Reynolds numbers of all measurements are lower than 150, which is largely inferior than the upper limit of 2000 for laminar flow.

The validity of the proposed model can be appraised by comparing the calculated flow from Equation (14) and the flow measured using the permeability cell. Fig. 11 shows a good correlation ( $R^2 = 0.92$ ) between calculated and measured flows, confirming the validity of the proposed model.

## 5. Discussion

Globally, the results of Fig. 11 indicate that the proposed model can predict the airflow through a crack with a precision of  $\pm 20\%$ . The gap between experimental and predicted values depends mostly on the measurement precision of the crack opening. Equation (14) shows that the downstream flow is a function of  $W^3$ . Therefore, a relatively small error on the experimental measurement of  $W$  can have a large effect on the predicted value of  $Q_2$ . For example, for a crack opening of  $80 \mu\text{m}$ , a measurement error of  $\pm 10\%$  leads to a variation of  $\pm 30\%$  of the calculated airflow.



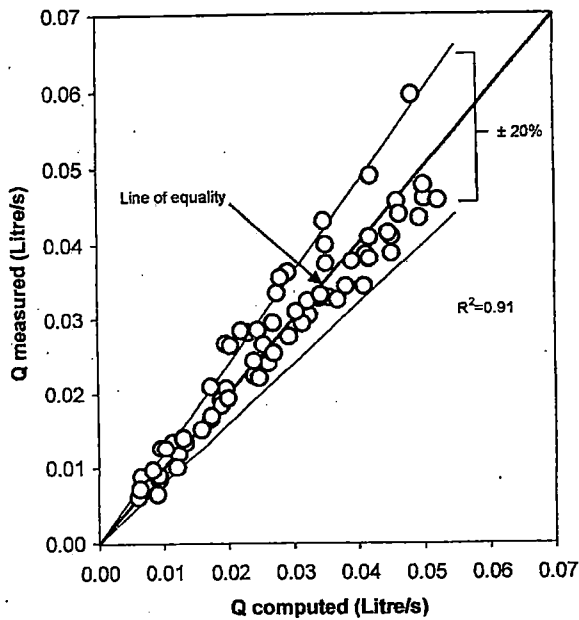


Fig. 11 Comparison of airflow obtained from Equation (14) and the corresponding experimental values.

The low Reynolds numbers (<150) indicate that airflows were laminar for all the test conditions used. Low Reynolds numbers were obtained with relatively high pressure gradients (50 kPa for a mortar thickness of 0.05 m) or with relatively large cracks (180 μm). It can be shown that the limit of the laminar domain (Re = 2000) corresponds to a pressure gradient of approximately 100 kPa (for a mortar thickness of 0.05 m).

Overall, results indicate that the type of mortar (normal and high strength) had no significant effect on the airflow in a crack. This can be explained by the fact that the flow conditions were systematically laminar. For a laminar flow, the friction factor (Equation 8) is independent of the relative rugosity of the crack walls. Consequently, for a given crack opening, the potentially smoother crack walls of high-strength mortars (and the potentially rougher crack walls of normal-strength mortars) had probably no effect on the flow properties.

The hypothesis of a laminar flow yields an important simplification of Equation (14). According to the proposed model, the flow coefficient is equal to 1 for laminar flows. The laminar flow hypothesis is confirmed by the low Reynolds number and by the results of Fig. 10 showing that experimental values of n are approximately equal to 1 (0.90–1.1). For n = 1, Equation

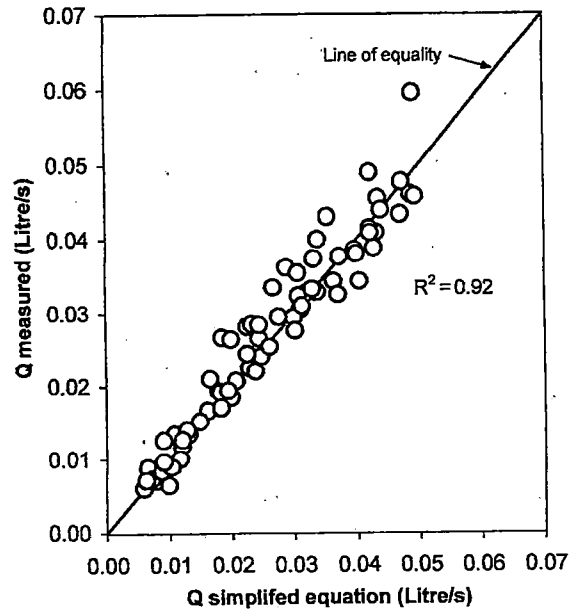


Fig. 12 Comparison of airflow obtained from the simplified Equation (21) and the corresponding experimental values.

(14) can be simplified to explicitly give Q<sub>2</sub>.

$$Q_2 = \frac{4(P_1^2 - P_2^2)BW^3}{P_2L\mu k} \tag{21}$$

Fig. 12 shows the relationship between calculated airflow obtained from Equation (21) and the corresponding experimental values. The high correlation coefficient (R² = 0.93) confirms the validity of the simplified formula for laminar flows.

It must be pointed out that the result of Equation (21) is a function of the friction coefficient (k). The curve of Fig. 10 shows that k varies by one order of magnitude when W ranges from 50 to 200 μm. The precision of Equation (21) is therefore directly linked to the precision of Equation (20) that gives k as a function of W. More research is needed to determine the precision of the experimental relationship between k and W and to determine if different relationships exist for other types of cementitious materials (normal and high strength concretes, fiber reinforced concrete).

## 6. Conclusion

The following conclusion can be drawn from this paper:



- A new experimental technique was used to study the airflow through a single crack generated under controlled traction sollicitation of a mortar sample.
- An experimental program was designed to determine the friction coefficient ( $k$ ) and the flow coefficient ( $n$ ) defined in a model proposed by Rizkalla et al. These coefficients were determined by analyzing air leakage through mortars sample having a single define crack. Comparison between the calculated flow using the proposed model and the flow measured using the permeability cell indicates that the model can predict the air flow with precision of  $\pm 20\%$ . The accuracy of the predicted airflow depends mostly on the precision of crack opening measurement.
- Results indicate that the airflow was laminar for all the test conditions. A simplified model was developed to predict airflow under laminar flow.
- For given crack opening and pressure gradient, the type of mortar (normal-strength and high-strength) had no effect on airflow. This phenomenon can be explained by the fact that airflows were found to be laminar for all test conditions. For laminar flow, the friction coefficient is independent of the relative rugosity of the crack wall. Consequently, for a given crack opening, the potentially smoother crack walls of high-strength mortars (and the potentially rougher crack walls of normal-strength mortars) had probably no effect on the flow properties.

**Acknowledgements** This work is financially supported by Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC).

## References

1. Jacobsen S, Marchand J, Gérard B (1998) Concrete crack I: Durability and self healing—a review. Proceedings of Concrete Under Severe Conditions 2 Environment and Loading, O.E. GjØrv, K. Sakai and N. Banthia Editors, E&FN Spon, Tromso, June, pp. 217–231.
2. Riva P, Brusa L, Contri P, Imperato L (1999) Prediction of air and steam leak rate through cracked reinforced concrete panels. Nuclear Engineering and Design, 192:13–30.
3. Rizkalla SH, Lau BL, Simmonds SH (1984) Air leakage characteristics in reinforced concrete. Journal of Structural Engineering 110(5):1149–1162.
4. Carrasquillo RL, Floyd OS, Nilson AH (1981) Microcracking and behavior of high-strength concrete subjected to short-term loading. ACI Journal 78(3):179–186.
5. Gettu R, Bazant ZP, Karr ME (1990) Fracture properties and brittleness of high-strength concrete. ACI Material Journal 87(6):608–618.
6. Gagné R, François R, Masse P (2001) Chloride penetration testing of cracked mortar samples. Proceedings of Concrete Under Severe Conditions, Environment and Loading, N. Banthia, K. Sakai and O. E. GjØrv Editors, University of British Columbia, Vancouver, June, pp. 198–205.
7. Blevins RD (1984) Applied fluid dynamics handbook. Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York.
8. Shapiro AH (1953) The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow. Vol. 1, The Ronald Press, New York, New York.
9. Ismail M (2003) Effect of cracks on the transport properties of mortar. Ph.D. thesis, LMDC INSA/U.P.S., Department of civil engineering, Toulouse, France, (in preparation).
10. Greiner U, Ramm W (1995) Air leakage characteristics in cracked concrete. Nuclear Engineering and Design, 156:167–172.

