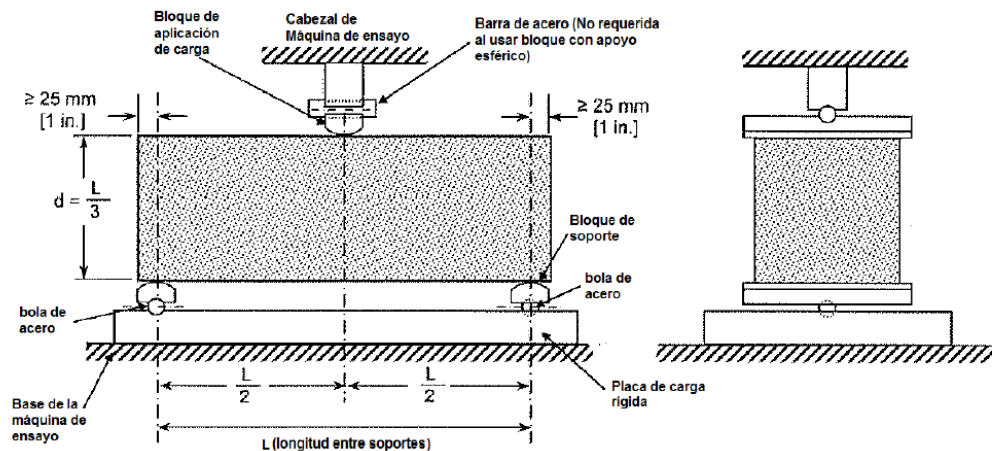


ANEXOS

Anexo 1 Diagrama de un aparato para el ensayo de flexión en el hormigón por el método de carga al centro luz



Fuente: NORMA ASTM C 293/C293.

Se puede apreciar las dimensiones que debe de tener el espécimen de estudio su colocación exacta en el equipo según la normativa.

Anexo 2 Material utilizado en la granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Se observa el juego de tamices utilizados para el ensayo de granulometría junto con cepillo, brocha para limpieza y una cuchara para la manipulación del material

Anexo 3 Balanza electrónica.



Fuente: Elaboración propia

Balanza electrónica utilizada para el ensayo de granulometría.

Anexo 4 Tamizador mecánico.



Fuente: Elaboración propia

Equipo de tamizado mecánico utilizado para el agregado grueso y fino.

Anexo 5 Horno eléctrico



Fuente: Elaboración propia

. horno empleado para secar material pétreo para todos los ensayos efectuados.

Anexo 6 Enrasado de molde



Fuente: Elaboración propia.

Proceso de nivelación del material para el ensayo de peso unitario.

Anexo 7 Preparación de muestra para ensayo de absorción



Fuente: Elaboración propia.

Preparación del agregado grueso para el proceso de saturación el cual tendrá una duración de 24 horas.

Anexo 8 Equipo de mezclado



Fuente: Elaboración propia.

Proceso de mezclado mecánico de agregados una vez dosificados.

Anexo 9 Fibra de PVC



Fuente: Elaboración propia.

Adición de fibra de PVC en el momento del mezclado del hormigón.

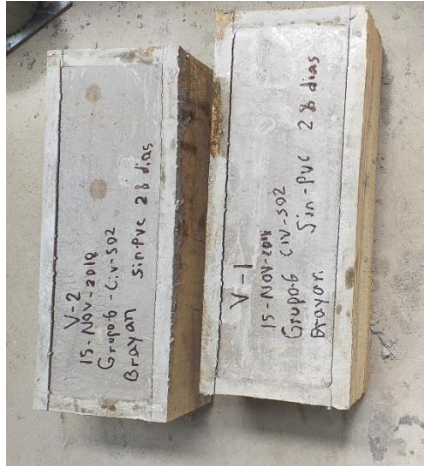
Anexo 10 Armadura de acero corrugado



Fuente: Elaboración propia.

Colocado de armadura de acero corrugado en su disposición final antes de llenar el molde con hormigón.

Anexo 11 Especímenes en moldes



Fuente: Elaboración propia.

Probetas antes de su extracción del molde una vez correctamente identificadas.

Anexo 12 Probetas Sumergidas



Fuente: Elaboración propia.

Se sumerge las probetas en agua durante 26 días o 12 días según la edad requerida del ensayo para un correcto fraguado.

Anexo 13 Pesado de espécimen



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el pesado de todas las probetas luego de un día de secado una vez extraído de la piscina antes del ensayo a flexión.

Anexo 14 Prensa Universal



Fuente: Elaboración propia.

Prensa universal del laboratorio de maderas una vez colocados los accesorios para la rotura de vigas con una carga puntual.

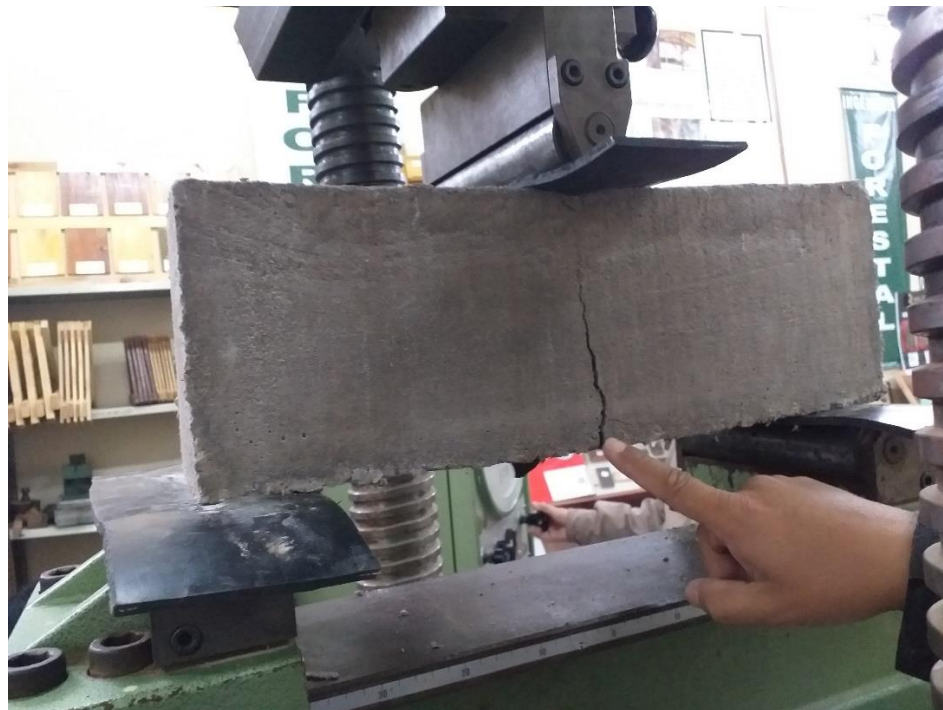
Anexo 15 Probeta colocada en prensa universal



Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de rotura a flexión en proceso

Anexo 16 Probeta de 28 días rota



Fuente: Elaboración propia.

las probetas rotas a los 28 días en su totalidad presentaron este tipo de rotura.

Anexo 17 Probeta de 14 días rota



Fuente: Elaboración propia.

Los especímenes ensayados a los 14 días presentaron este tipo de rotura.

Anexo 18 Ensayo de flexión



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento del ensayo de rotura el Ing. Encargado aplica la carga mientras el ayudante informa sobre las deformaciones, el tesista anota los datos y un ayudante extra observa el momento de la rotura.

Anexo 19 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas patón a los 28 días

Carga (kg)	Deformación a los 28 días (mm)			
	V-1	V-2	V-3	V-4
0,00	0	0	0	0
101,97	0,95	1,05	1	0,9
203,94	1,16	1,28	1,23	1,13
305,91	1,48	1,55	1,5	1,45
407,89	1,66	1,74	1,7	1,64
509,86	1,83	1,87	1,85	1,79
611,83	1,93	1,96	1,94	1,9
713,80	2	2,06	2,03	1,97
815,77	2,1	2,12	2,1	2,07
917,74	2,14	2,18	2,15	2,11
1019,72	2,21	2,25	2,22	2,17
1121,69	2,26	2,3	2,27	2,23
1223,66	2,31	2,36	2,33	2,28
1325,63	2,37	2,4	2,37	2,34
1427,60	2,43	2,44	2,42	2,39
1529,57	2,45	2,48	2,46	2,41
1631,55	2,52	2,54	2,51	2,48
1733,52	2,56	2,57	2,54	2,52
1835,49	2,58	2,6	2,57	2,54
1937,46	2,62	2,64	2,6	2,58
2039,43	2,67	2,7	2,65	2,63
2141,40	2,7	2,72	2,67	2,66
2243,38	2,73	2,75	2,7	2,69
2345,35	2,75	2,77	2,72	2,71
2447,32	2,78	2,8	2,75	2,74
2549,29	2,81	2,82	2,79	2,78
2651,26	2,83	2,84	2,81	2,8
2753,23	2,85	2,86	2,84	2,83
2855,21	2,89	2,9	2,89	2,88
2957,18	2,91	2,92	2,91	2,9
3059,15	2,93	2,94	2,93	2,92

3161,12	2,95	2,96	2,95	2,94
3263,09	2,98	3	2,99	2,98
3365,06	3,01	3,03	3,02	3
3467,04	3,03	3,05	3,04	3,02
3569,01	3,08	3,1	3,09	3,07
3670,98	3,19	3,21	3,2	3,18
3772,95	3,26	3,29	3,27	3,25
3874,92	3,29	3,32	3,3	3,28
3976,89	3,31	3,34	3,32	3,3
4078,86	3,34	3,36	3,35	3,33
4180,84	3,38	3,4	3,39	3,37
4282,81	3,42	3,45	3,44	3,41
4384,78	3,46	3,5	3,48	3,45
4486,75	3,52	3,54	3,53	3,51
4588,72	3,57	3,58	3,57	3,56
4690,69	3,58	3,6	3,59	3,58
4792,67	3,63	3,65	3,64	3,62
4894,64	3,67	3,68	3,67	3,66
4996,61	3,69	3,7	3,7	3,71
5098,58	3,79	3,8	3,8	3,81

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 1 al 4

Anexo 20 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas patón a los 14 días

Carga (kg)	Deformación a los 14 días (mm)			
	V-5	V-6	V-7	V-8
0,00	0	0	0	0
101,97	0,42	0,43	0,36	0,4
203,94	0,61	0,64	0,54	0,6
305,91	0,87	0,88	0,8	0,85
407,89	1,03	1,04	0,95	1
509,86	1,13	1,15	1,06	1,1
611,83	1,23	1,24	1,15	1,2
713,80	1,31	1,35	1,25	1,3
815,77	1,37	1,4	1,3	1,35
917,74	1,46	1,48	1,38	1,44
1019,72	1,54	1,54	1,46	1,5

1121,69	1,61	1,61	1,52	1,57
1223,66	1,67	1,67	1,58	1,64
1325,63	1,74	1,75	1,63	1,7
1427,60	1,79	1,81	1,69	1,75
1529,57	1,86	1,9	1,79	1,85
1631,55	1,96	1,97	1,85	1,93
1733,52	2,03	2,03	1,96	2
1835,49	2,09	2,08	2,01	2,05
1937,46	2,17	2,15	2,09	2,13
2039,43	2,21	2,18	2,12	2,15
2141,40	2,28	2,29	2,22	2,25
2243,38	2,34	2,36	2,27	2,3
2345,35	2,4	2,41	2,34	2,38
2447,32	2,63	2,62	2,55	2,6
2549,29	2,68	2,68	2,6	2,65
2651,26	2,74	2,75	2,66	2,7
2753,23	2,8	2,79	2,71	2,75
2855,21	2,87	2,87	2,82	2,85
2957,18	2,98	2,96	2,93	2,95
3059,15	3,06	3,05	3	3,03
3161,12	3,14	3,11	3,08	3,1
3263,09	3,19	3,16	3,14	3,15
3365,06		3,2	3,19	3,2

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 5 al 8.

Anexo 21 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 1 a los 28 días

Carga (kg)	V-9	V-10	V-11	V-12
0,00	0	0	0	0
101,97	1,04	1,2	1,15	1,1
203,94	1,45	1,6	1,55	1,5
305,91	1,65	1,85	1,8	1,7
407,89	1,89	2,05	2	1,95
509,86	2,06	2,25	2,2	2,15
611,83	2,27	2,43	2,4	2,36
713,80	2,43	2,59	2,55	2,5
815,77	2,58	2,66	2,65	2,63

917,74	2,74	2,88	2,85	2,8
1019,72	2,85	3,05	3	2,91
1121,69	2,96	3,13	3,1	3,05
1223,66	3,05	3,22	3,2	3,1
1325,63	3,15	3,34	3,3	3,2
1427,60	3,25	3,4	3,35	3,3
1529,57	3,36	3,5	3,47	3,45
1631,55	3,46	3,6	3,55	3,5
1733,52	3,56	3,7	3,65	3,62
1835,49	3,65	3,8	3,75	3,7
1937,46	3,75	3,9	3,85	3,8
2039,43	3,85	4,01	3,95	3,9
2141,40	3,9	4,06	4	3,95
2243,38	3,95	4,13	4,1	4,01
2345,35	4,05	4,18	4,15	4,1
2447,32	4,15	4,3	4,25	4,2
2549,29	4,2	4,35	4,3	4,25
2651,26	4,25	4,4	4,37	4,3
2753,23	4,36	4,5	4,45	4,41
2855,21	4,4	4,6	4,5	4,46
2957,18	4,46	4,7	4,6	4,52
3059,15	4,54	4,75	4,65	4,58
3161,12	4,65	4,85	4,75	4,7
3263,09	4,7	4,9	4,8	4,75
3365,06	4,8	5,01	4,9	4,85
3467,04	4,85	5,07	4,95	4,9
3569,01	4,9	5,15	5	4,95
3670,98	4,95	5,2	5,05	5,02
3772,95	5	5,25	5,13	5,05
3874,92	5,08	5,3	5,2	5,12
3976,89	5,14	5,36	5,33	5,2
4078,86	5,25	5,42	5,35	5,3
4180,84	5,3	5,47	5,44	5,35
4282,81	5,38	5,55	5,48	5,42
4384,78	5,45	5,61	5,55	5,47
4486,75	5,5	5,65	5,6	5,53
4588,72	5,55	5,7	5,64	5,59
4690,69	5,6	5,75	5,68	5,65
4792,67	5,66	5,79	5,72	5,7
4894,64	5,71	5,84	5,77	5,75

4996,61	5,76	5,88	5,82	5,8
5098,58	5,83	5,94	5,88	5,85
5200,55	5,86	6	5,92	5,9
5302,52	5,9	6,07	5,97	5,95
5404,50	5,96	6,14	6,03	6
5506,47	6,03	6,18	6,07	6,05
5608,44	6,06	6,23	6,12	6,1
5710,41	6,1	6,26	6,15	6,12
5812,38	6,15	6,32	6,2	6,18
5914,35	6,2	6,36	6,25	6,23
6016,33	6,24	6,41	6,32	6,28
6118,30	6,3	6,45	6,38	6,34
6220,27	6,45	6,56	6,55	6,5
6322,24	6,5	6,6	6,58	6,55
6424,21	6,56	6,65	6,62	6,6
6526,18	6,6	6,69	6,65	6,64
6628,16	6,65	6,73	6,7	6,69
6730,13	6,7	6,76	6,75	6,73
6832,10	6,8	6,81	6,8	6,8
6934,07	6,84	6,85	6,85	6,84

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 9 al 12.

Anexo 22 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 1 a los 14 días.

Carga (kg)	V-13	V-14	V-15	V-16
0,00	0	0	0	0
101,97	1,05	1	1,1	0,9
203,94	1,45	1,4	1,5	1,3
305,91	1,75	1,7	1,8	1,6
407,89	1,87	1,9	2	1,85
509,86	2,15	2,1	2,25	2,02
611,83	2,35	2,2	2,45	2,18
713,80	2,5	2,35	2,6	2,36
815,77	2,65	2,6	2,65	2,6
917,74	3,01	2,9	3,02	2,85
1019,72	3,1	3	3,1	2,9
1121,69	3,2	3,1	3,25	3,04

1223,66	3,35	3,2	3,4	3,15
1325,63	3,45	3,35	3,5	3,3
1427,60	3,55	3,45	3,6	3,4
1529,57	3,65	3,6	3,65	3,5
1631,55	3,75	3,7	3,85	3,55
1733,52	3,85	3,8	3,95	3,68
1835,49	4	3,95	4,05	3,78
1937,46	4,12	4,1	4,15	3,86
2039,43	4,2	4,2	4,3	3,95
2141,40	4,25	4,3	4,35	4,05
2243,38	4,35	4,4	4,45	4,2
2345,35	4,4	4,45	4,5	4,25
2447,32	4,5	4,55	4,6	4,35
2549,29	4,6	4,65	4,7	4,4
2651,26	4,65	4,7	4,75	4,5
2753,23	4,75	4,8	4,85	4,6
2855,21	4,85	4,9	4,95	4,7
2957,18	4,9	4,95	5	4,75
3059,15	5,05	5	5,1	4,85
3161,12	5,15	5,1	5,15	4,95
3263,09	5,2	5,15	5,2	5
3365,06	5,3	5,25	5,3	5,1
3467,04	5,35	5,3	5,35	5,15
3569,01	5,4	5,4	5,45	5,25
3670,98	5,47	5,45	5,5	5,3
3772,95	5,53	5,5	5,55	5,37
3874,92	5,58	5,55	5,6	5,45
3976,89	5,63	5,6	5,65	5,5
4078,86	5,68	5,65	5,7	5,55
4180,84	5,75	5,7	5,77	5,65
4282,81	5,8	5,75	5,84	5,75
4384,78	5,85	5,8	5,9	5,8
4486,75	5,9	5,85	5,95	5,85
4588,72	5,95	5,95	6,02	5,94
4690,69	6,03	6,01	6,05	6,03
4792,67	6,1	6,05	6,1	6,05
4894,64	6,15	6,1	6,15	6,1
4996,61	6,2	6,15	6,2	6,15
5098,58	6,26	6,25	6,27	6,25
5200,55	6,31	6,3	6,33	6,3

5302,52	6,35	6,35	6,4	6,35
5404,50	6,41	6,4	6,45	6,42
5506,47	6,45	6,45	6,5	6,45
5608,44	6,51	6,5	6,55	6,5
5710,41	6,67	6,65	6,68	6,55
5812,38	6,73	6,75	6,72	6,75
5914,35	6,8	6,8	6,76	6,8
6016,33	6,85	6,85	6,85	6,85
6118,30	6,88	6,89	6,87	6,9

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 13 al 16.

Anexo 23 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 2 a los 28 días.

Carga (kg)	V-17	V-18	V-19	V-20
0,00	0	0	0	0
101,97	0,5	0,65	0,7	0,6
203,94	0,7	0,86	0,93	0,8
305,91	0,95	1,12	1,15	1,05
407,89	1,2	1,37	1,41	1,3
509,86	1,46	1,61	1,68	1,55
611,83	1,65	1,87	1,9	1,77
713,80	1,85	2,08	2,15	1,96
815,77	2,06	2,25	2,45	2,17
917,74	2,27	2,46	2,67	2,35
1019,72	2,39	2,64	2,81	2,48
1121,69	2,53	2,81	3,02	2,64
1223,66	2,68	2,91	3,1	2,79
1325,63	2,84	3,14	3,29	2,96
1427,60	2,96	3,26	3,4	3,05
1529,57	3,09	3,38	3,57	3,2
1631,55	3,24	3,51	3,64	3,35
1733,52	3,37	3,62	3,75	3,45
1835,49	3,45	3,76	3,85	3,58
1937,46	3,57	3,87	3,94	3,7
2039,43	3,69	3,95	4,01	3,8
2141,40	3,81	4,06	4,1	3,9
2243,38	3,92	4,15	4,2	4

2345,35	4,05	4,26	4,33	4,12
2447,32	4,11	4,34	4,39	4,19
2549,29	4,2	4,43	4,5	4,3
2651,26	4,3	4,54	4,6	4,41
2753,23	4,41	4,63	4,72	4,53
2855,21	4,52	4,75	4,83	4,61
2957,18	4,65	4,86	4,91	4,74
3059,15	4,73	4,94	5	4,83
3161,12	4,78	5,05	5,1	4,89
3263,09	4,86	5,13	5,18	4,97
3365,06	4,97	5,2	5,26	5,08
3467,04	5,06	5,29	5,32	5,17
3569,01	5,17	5,34	5,39	5,26
3670,98	5,26	5,42	5,46	5,34
3772,95	5,37	5,49	5,52	5,42
3874,92	5,45	5,57	5,6	5,51
3976,89	5,54	5,65	5,69	5,6
4078,86	5,61	5,72	5,76	5,67
4180,84	5,67	5,78	5,81	5,73
4282,81	5,73	5,84	5,87	5,79
4384,78	5,78	5,91	5,94	5,86
4486,75	5,84	5,96	6	5,92
4588,72	5,9	6,04	6,08	5,97
4690,69	5,97	6,11	6,15	6,04
4792,67	6,04	6,16	6,21	6,09
4894,64	6,1	6,21	6,28	6,15
4996,61	6,14	6,27	6,32	6,2
5098,58	6,25	6,37	6,4	6,3
5200,55	6,31	6,42	6,46	6,36
5302,52	6,38	6,46	6,5	6,42
5404,50	6,42	6,49	6,53	6,45
5506,47	6,47	6,53	6,57	6,49
5608,44	6,52	6,57	6,61	6,54
5710,41	6,58	6,64	6,65	6,61
5812,38	6,64	6,7	6,71	6,67
5914,35	6,7	6,74	6,75	6,73
6016,33	6,75	6,79	6,81	6,78
6118,30	6,79	6,85	6,87	6,82
6220,27	6,83	6,89	6,91	6,86
6322,24	6,86	6,91	6,95	6,89

6424,21	6,89	6,94	6,99	6,92
6526,18	6,93	6,98	7,03	6,96
6628,16	6,97	7,02	7,07	7
6730,13	7,05	7,07	7,11	7,06
6832,10	7,09	7,11		7,1

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 17 al 20.

Anexo 24 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 2 a los 14 días.

Carga (kg)	V-21	V-22	V-23	V-24
0,00	0	0	0	0
101,97	0,85	0,9	0,8	0,7
203,94	1,14	1,18	1,1	1,02
305,91	1,43	1,49	1,4	1,3
407,89	1,67	1,7	1,65	1,55
509,86	1,96	2,01	1,9	1,8
611,83	2,16	2,21	2,1	2,03
713,80	2,35	2,42	2,3	2,21
815,77	2,51	2,7	2,45	2,35
917,74	2,69	2,85	2,65	2,55
1019,72	2,87	3,01	2,8	2,75
1121,69	3,1	3,2	3,0	2,89
1223,66	3,26	3,4	3,15	3,02
1325,63	3,3	3,53	3,25	3,15
1427,60	3,46	3,65	3,4	3,29
1529,57	3,6	3,74	3,53	3,4
1631,55	3,76	3,86	3,7	3,55
1733,52	3,87	3,94	3,8	3,68
1835,49	4,01	4,1	3,95	3,8
1937,46	4,12	4,23	4,05	3,9
2039,43	4,24	4,33	4,18	4
2141,40	4,32	4,42	4,25	4,1
2243,38	4,46	4,57	4,4	4,25
2345,35	4,61	4,65	4,55	4,35
2447,32	4,72	4,75	4,65	4,5
2549,29	4,8	4,85	4,75	4,6
2651,26	4,88	4,93	4,83	4,72

2753,23	4,97	5	4,95	4,82
2855,21	5,04	5,06	5,02	4,95
2957,18	5,13	5,16	5,11	5
3059,15	5,21	5,23	5,18	5,08
3161,12	5,3	5,33	5,28	5,15
3263,09	5,37	5,4	5,35	5,21
3365,06	5,46	5,5	5,45	5,34
3467,04	5,58	5,65	5,5	5,4
3569,01	5,64	5,75	5,6	5,5
3670,98	5,73	5,82	5,67	5,6
3772,95	5,8	5,9	5,75	5,69
3874,92	5,85	5,98	5,83	5,74
3976,89	5,95	6,05	5,9	5,85
4078,86	6,05	6,1	5,95	5,9
4180,84	6,1	6,2	6,05	5,98
4282,81	6,15	6,25	6,1	6,04
4384,78	6,21	6,3	6,15	6,09
4486,75	6,27	6,34	6,25	6,16
4588,72	6,34	6,38	6,3	6,21
4690,69	6,39	6,42	6,35	6,27
4792,67	6,43	6,46	6,4	6,34
4894,64	6,47	6,5	6,45	6,4
4996,61	6,53	6,55	6,5	6,44
5098,58	6,6	6,63	6,58	6,52
5200,55	6,65	6,67	6,62	6,56
5302,52	6,68	6,72	6,67	6,61
5404,50	6,74	6,77	6,72	6,68
5506,47	6,78	6,8	6,75	6,71
5608,44	6,83	6,85	6,8	6,76
5710,41	6,86	6,88	6,83	6,79
5812,38	6,88	6,91	6,86	6,81
5914,35	6,91	6,94	6,89	6,84
6016,33	6,95	6,96	6,94	6,88
6118,30	6,97	6,98	6,96	6,91
6220,27	7	7,01	6,99	6,94
6322,24	7,02	7,04	7,01	6,96
6424,21	7,06	7,07	7,05	6,98
6526,18	7,09	7,1	7,08	7,01
6628,16	7,1		7,1	7,05

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 21 al 24.

Anexo 25 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 3 a los 28 días.

Carga (kg)	V-25	V-26	V-27	V-28
0,00	0	0	0	0
101,97	1	0,9	1,2	1,05
203,94	1,5	1,35	1,6	1,45
305,91	2	1,68	2,35	2,15
407,89	2,4	2,1	2,65	2,3
509,86	2,7	2,35	2,9	2,85
611,83	2,9	2,6	3,1	3
713,80	3,1	2,9	3,3	3,15
815,77	3,2	3,1	3,45	3,32
917,74	3,4	3,29	3,56	3,45
1019,72	3,5	3,39	3,7	3,6
1121,69	3,6	3,5	3,8	3,8
1223,66	3,7	3,6	3,85	3,9
1325,63	3,75	3,65	3,95	3,95
1427,60	3,85	3,75	4,01	3,98
1529,57	3,9	3,82	4,06	4,02
1631,55	3,98	3,9	4,1	4,08
1733,52	4,05	3,97	4,16	4,12
1835,49	4,1	4,05	4,19	4,16
1937,46	4,15	4,1	4,29	4,2
2039,43	4,25	4,16	4,34	4,3
2141,40	4,28	4,19	4,39	4,34
2243,38	4,35	4,23	4,45	4,4
2345,35	4,4	4,28	4,49	4,46
2447,32	4,45	4,38	4,54	4,5
2549,29	4,5	4,42	4,58	4,53
2651,26	4,55	4,47	4,64	4,59
2753,23	4,6	4,5	4,67	4,64
2855,21	4,66	4,54	4,73	4,7
2957,18	4,72	4,59	4,77	4,75
3059,15	4,81	4,64	4,85	4,79
3161,12	4,84	4,68	4,95	4,86
3263,09	4,88	4,72	4,98	4,89

3365,06	4,92	4,82	5,05	4,94
3467,04	4,96	4,85	5,12	4,98
3569,01	5,04	4,89	5,19	5,06
3670,98	5,09	4,95	5,26	5,18
3772,95	5,13	5,01	5,28	5,24
3874,92	5,17	5,07	5,31	5,31
3976,89	5,23	5,12	5,33	5,37
4078,86	5,27	5,16	5,36	5,41
4180,84	5,31	5,19	5,41	5,46
4282,81	5,37	5,27	5,47	5,5
4384,78	5,42	5,3	5,5	5,54
4486,75	5,46	5,36	5,54	5,57
4588,72	5,51	5,4	5,59	5,61
4690,69	5,56	5,44	5,63	5,65
4792,67	5,61	5,48	5,66	5,69
4894,64	5,66	5,53	5,7	5,74
4996,61	5,7	5,59	5,74	5,8
5098,58	5,75	5,67	5,77	5,86
5200,55	5,81	5,71	5,83	5,9
5302,52	5,84	5,75	5,86	5,94
5404,50	5,88	5,81	5,89	5,98
5506,47	5,92	5,86	6,01	6,05
5608,44	6,03	5,93	6,06	6,09
5710,41	6,07	5,97	6,12	6,14
5812,38	6,12	6,05	6,17	6,2
5914,35	6,18	6,1	6,21	6,26
6016,33	6,23	6,15	6,26	6,3
6118,30	6,27	6,18	6,3	6,34
6220,27	6,34	6,23	6,35	6,4
6322,24	6,44	6,27	6,42	6,48
6424,21	6,54	6,37	6,52	6,54
6526,18	6,64	6,47	6,61	6,6
6628,16	6,68	6,57	6,71	6,68
6730,13	6,72	6,69		6,73

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 25 al 28.

Anexo 26 Tabla de resultados de ensayo de rotura a flexión de probetas con dosificación 3 a los 14 días.

Carga (kg)	V-29	V-30	V-31	V-32
0,00	0	0	0	0
101,97	0,8	0,9	0,85	0,9
203,94	1,8	1,7	1,56	1,75
305,91	2,2	2,1	1,95	2,3
407,89	2,5	2,3	2,25	2,6
509,86	2,7	2,56	2,46	2,8
611,83	2,9	2,7	2,6	3,1
713,80	3	2,8	2,75	3,2
815,77	3,1	2,95	2,9	3,3
917,74	3,2	3,1	3	3,4
1019,72	3,3	3,2	3,1	3,5
1121,69	3,4	3,26	3,16	3,56
1223,66	3,47	3,31	3,26	3,61
1325,63	3,54	3,39	3,36	3,69
1427,60	3,63	3,45	3,4	3,79
1529,57	3,7	3,56	3,45	3,86
1631,55	3,75	3,64	3,56	3,92
1733,52	3,81	3,75	3,66	3,97
1835,49	3,86	3,81	3,73	4,06
1937,46	3,96	3,87	3,83	4,13
2039,43	4,03	3,94	3,87	4,2
2141,40	4,11	4,03	3,95	4,3
2243,38	4,23	4,1	4	4,36
2345,35	4,3	4,15	4,06	4,43
2447,32	4,35	4,21	4,1	4,5
2549,29	4,41	4,31	4,16	4,56
2651,26	4,5	4,38	4,24	4,62
2753,23	4,6	4,43	4,29	4,67
2855,21	4,65	4,47	4,36	4,73
2957,18	4,71	4,54	4,4	4,78
3059,15	4,76	4,59	4,47	4,85
3161,12	4,8	4,65	4,55	4,9
3263,09	4,87	4,75	4,62	4,96
3365,06	4,97	4,81	4,7	5,01
3467,04	5,03	4,87	4,79	5,07
3569,01	5,07	4,92	4,86	5,12
3670,98	5,14	4,96	4,95	5,16
3772,95	5,19	5,06	5,02	5,23
3874,92	5,26	5,11	5,08	5,29

3976,89	5,3	5,19	5,13	5,34
4078,86	5,36	5,26	5,17	5,39
4180,84	5,41	5,34	5,28	5,45
4282,81	5,48	5,42	5,38	5,51
4384,78	5,56	5,49	5,46	5,57
4486,75	5,6	5,53	5,51	5,62
4588,72	5,65	5,59	5,58	5,68
4690,69	5,71	5,68	5,64	5,75
4792,67	5,75	5,74	5,69	5,8
4894,64	5,8	5,79	5,76	5,86
4996,61	5,86	5,83	5,85	5,96
5098,58	5,92	5,87	5,89	6,02
5200,55	5,96	5,93	5,94	6,06
5302,52	6,02	5,97	6	6,11
5404,50	6,07	6,08	6,05	6,17
5506,47	6,13	6,16	6,12	6,23
5608,44	6,18	6,21	6,19	6,3
5710,41	6,24	6,28	6,26	6,36
5812,38	6,29	6,34	6,33	6,41
5914,35	6,39	6,38	6,39	6,49
6016,33	6,45	6,43	6,47	6,55
6118,30	6,51	6,49	6,58	6,6
6220,27	6,58	6,55	6,64	6,67
6322,24	6,64	6,6	6,68	6,72
6424,21	6,71	6,65	6,71	6,76
6526,18	6,76	6,7	6,75	6,79
6628,16	6,82	6,77	6,8	6,83
6730,13		6,82	6,84	

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones resultantes de la aplicación gradual de carga de vigas 29 al 32.

Anexo 27 Resultados promedios de los ensayos de rotura por flexión a los 14 Días

Carga (kg)	Deformación (mm)			
	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
101,97	0,40	1,01	0,81	0,86
203,94	0,60	1,41	1,11	1,70
305,91	0,85	1,71	1,41	2,14

407,89	1,01	1,91	1,64	2,41
509,86	1,11	2,13	1,92	2,63
611,83	1,21	2,30	2,13	2,83
713,80	1,30	2,45	2,32	2,94
815,77	1,36	2,63	2,50	3,06
917,74	1,44	2,94	2,69	3,18
1019,72	1,51	3,03	2,86	3,28
1121,69	1,58	3,15	3,05	3,35
1223,66	1,64	3,28	3,20	3,41
1325,63	1,71	3,40	3,31	3,50
1427,60	1,76	3,50	3,45	3,57
1529,57	1,85	3,60	3,57	3,64
1631,55	1,93	3,71	3,72	3,72
1733,52	2,01	3,82	3,82	3,80
1835,49	2,06	3,95	3,97	3,87
1937,46	2,14	4,06	4,08	3,95
2039,43	2,17	4,16	4,19	4,01
2141,40	2,26	4,24	4,27	4,10
2243,38	2,32	4,35	4,42	4,17
2345,35	2,38	4,40	4,54	4,24
2447,32	2,60	4,50	4,66	4,29
2549,29	2,65	4,59	4,75	4,36
2651,26	2,71	4,65	4,84	4,44
2753,23	2,76	4,75	4,94	4,50
2855,21	2,85	4,85	5,02	4,55
2957,18	2,96	4,90	5,10	4,61
3059,15	3,04	5,00	5,18	4,67
3161,12	3,11	5,09	5,27	4,73
3263,09	3,16	5,14	5,33	4,80
3365,06	3,20	5,24	5,44	4,87
3467,04		5,29	5,53	4,94
3569,01		5,38	5,62	4,99
3670,98		5,43	5,71	5,05
3772,95		5,49	5,79	5,13
3874,92		5,55	5,85	5,19
3976,89		5,60	5,94	5,24
4078,86		5,65	6,00	5,30
4180,84		5,72	6,08	5,37

4282,81		5,79	6,14	5,45
4384,78		5,84	6,19	5,52
4486,75		5,89	6,26	5,57
4588,72		5,96	6,31	5,63
4690,69		6,02	6,36	5,70
4792,67		6,08	6,41	5,75
4894,64		6,13	6,46	5,80
4996,61		6,18	6,51	5,88
5098,58		6,26	6,58	5,93
5200,55		6,31	6,63	5,97
5302,52		6,36	6,67	6,03
5404,50		6,41	6,73	6,09
5506,47		6,46	6,76	6,16
5608,44		6,52	6,81	6,22
5710,41		6,64	6,84	6,29
5812,38		6,74	6,87	6,34
5914,35		6,79	6,90	6,41
6016,33		6,85	6,93	6,48
6118,30		6,89	6,96	6,55
6220,27			6,99	6,61
6322,24			7,01	6,66
6424,21			7,04	6,71
6526,18			7,07	6,75
6628,16			7,08	6,81
6730,13				6,83

Fuente: Elaboración propia

Anexo 28 Resultados promedios de los ensayos de rotura por flexión a los 28 Días

	Deformación (mm)			
Carga (kg)	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
101,97	0,98	1,12	0,61	1,04
203,94	1,20	1,53	0,82	1,48
305,91	1,50	1,75	1,07	2,05
407,89	1,69	1,97	1,32	2,36
509,86	1,84	2,17	1,58	2,70
611,83	1,93	2,37	1,80	2,90
713,80	2,02	2,52	2,01	3,11

815,77	2,10	2,63	2,23	3,27
917,74	2,15	2,82	2,44	3,43
1019,72	2,21	2,95	2,58	3,55
1121,69	2,27	3,06	2,75	3,68
1223,66	2,32	3,14	2,87	3,76
1325,63	2,37	3,25	3,06	3,83
1427,60	2,42	3,33	3,17	3,90
1529,57	2,45	3,45	3,31	3,95
1631,55	2,51	3,53	3,44	4,02
1733,52	2,55	3,63	3,55	4,08
1835,49	2,57	3,73	3,66	4,13
1937,46	2,61	3,83	3,77	4,19
2039,43	2,66	3,93	3,86	4,26
2141,40	2,69	3,98	3,97	4,30
2243,38	2,72	4,05	4,07	4,36
2345,35	2,74	4,12	4,19	4,41
2447,32	2,77	4,23	4,26	4,47
2549,29	2,80	4,28	4,36	4,51
2651,26	2,82	4,33	4,46	4,56
2753,23	2,85	4,43	4,57	4,60
2855,21	2,89	4,49	4,68	4,66
2957,18	2,91	4,57	4,79	4,71
3059,15	2,93	4,63	4,88	4,77
3161,12	2,95	4,74	4,96	4,83
3263,09	2,99	4,79	5,04	4,87
3365,06	3,02	4,89	5,13	4,93
3467,04	3,04	4,94	5,21	4,98
3569,01	3,09	5,00	5,29	5,05
3670,98	3,20	5,05	5,37	5,12
3772,95	3,27	5,11	5,45	5,17
3874,92	3,30	5,18	5,53	5,22
3976,89	3,32	5,26	5,62	5,26
4078,86	3,35	5,33	5,69	5,30
4180,84	3,39	5,39	5,75	5,34
4282,81	3,43	5,46	5,81	5,40
4384,78	3,47	5,52	5,87	5,44
4486,75	3,53	5,57	5,93	5,48
4588,72	3,57	5,62	6,00	5,53

4690,69	3,59	5,67	6,07	5,57
4792,67	3,64	5,72	6,13	5,61
4894,64	3,67	5,77	6,19	5,66
4996,61	3,70	5,82	6,23	5,71
5098,58	3,80	5,88	6,33	5,76
5200,55		5,92	6,39	5,81
5302,52		5,97	6,44	5,85
5404,50		6,03	6,47	5,89
5506,47		6,08	6,52	5,96
5608,44		6,13	6,56	6,03
5710,41		6,16	6,62	6,08
5812,38		6,21	6,68	6,14
5914,35		6,26	6,73	6,19
6016,33		6,31	6,78	6,24
6118,30		6,37	6,83	6,27
6220,27		6,52	6,87	6,33
6322,24		6,56	6,90	6,40
6424,21		6,61	6,94	6,49
6526,18		6,65	6,98	6,58
6628,16		6,69	7,02	6,66
6730,13		6,74	7,07	6,71
6832,10		6,80	7,10	
6934,07		6,85		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 29 Pesaje de probetas



Fuente: Elaboración propia

Anexo 30 Ensayo de rotura de probetas a compresión.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 31 Probeta una vez terminado el ensayo de rotura por compresión



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 32 ASTM C293/C293M – 10

Designación: C293 / C293M - 10

Método de prueba estándar para

Resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con

Carga de punto central) 1

Esta norma se emite bajo la designación fija C293 / C293M; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año

de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación.

Un superíndice épsilon (') indica un cambio editorial desde la última revisión o nueva aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por agencias del Departamento de Defensa de los EE. UU.

1. Alcance * 1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a la flexión de especímenes de concreto mediante el uso de una viga simple con carga de punto central. No es una alternativa al Método de prueba C78 / C78M. 1.2 Los valores indicados en unidades SI o en unidades de pulgada-libra deben considerarse por separado como estándar. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema se usará independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con el estándar. 1.3 Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos de referencia 2.1 Normas ASTM: 2 C31 / C31M Práctica para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el campo C78 / C78M Método de prueba para la resistencia a la flexión del concreto (Uso de vigas simples con carga de tercer

punto) C192 / C192M Práctica para hacer y Curado de especímenes de prueba de concreto en el laboratorio C617 Práctica para tapar especímenes de concreto cilíndricos C1077 Práctica para agencias de prueba de concreto y agregados de concreto para uso en construcción y criterios para evaluación de agencias de prueba E4 Prácticas para verificación de fuerza de máquinas de prueba.

3. Importancia y uso 3.1 Este método de prueba se utiliza para determinar el módulo de ruptura de muestras preparadas y curadas de acuerdo con las Prácticas C31 / C31M o C192 / C192M. La resistencia determinada variará cuando existan diferencias en el tamaño de la muestra, la preparación, la condición de humedad o el curado. 3.2 Los resultados de este método de prueba pueden usarse para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como base para las operaciones de dosificación, mezcla y colocación. Este método de prueba produce valores de resistencia a la flexión.

4. Aparato 4.1 La máquina de prueba debe cumplir con los requisitos de las secciones sobre Bases de verificación, correcciones e intervalo de tiempo entre verificaciones de prácticas E4. No se permiten máquinas de prueba manuales que tengan bombas que no proporcionen una carga continua hasta el fallo de una sola vez. Las bombas motorizadas o las bombas manuales de desplazamiento positivo que tienen un volumen suficiente en una carrera continua para completar una prueba sin requerir reabastecimiento están permitidas y deben ser capaces de aplicar cargas a una velocidad uniforme sin golpes ni interrupciones. 4.2 Aparato de carga: el mecanismo por el cual se aplican fuerzas a la muestra debe emplear un bloque de aplicación de carga y dos bloques de soporte de muestra. Asegurará que todas las fuerzas se apliquen perpendicularmente a la cara del espécimen sin excentricidad. Un diagrama de un aparato que cumple este propósito se muestra en la Fig. 1. 4.2.1 Todos los aparatos para realizar pruebas de flexión de carga en el punto central deben ser similares a la Fig. 1 y mantener la longitud del tramo y la posición central del bloque de aplicación de carga con respecto a los bloques de soporte constantes dentro de 61.0 mm [60.05 in.]. 4.2.2 Las reacciones deben ser paralelas a la dirección de la carga aplicada en todo momento durante el ensayo, y la relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación

de la carga y la reacción más cercana a la profundidad de la viga debe ser 1.5 6 2%.

4.2.3 Los bloques de aplicación de carga y soporte no deben tener más de 65 mm [2.50 pulg.] De altura, medidos desde el centro o el eje de pivote, y deben extenderse al menos a lo ancho del espécimen. Cada superficie de apoyo endurecida en contacto con el espécimen no debe apartarse de un plano en más de 0.05 mm [0.002 pulg.] Y debe ser una parte de un cilindro, cuyo eje es coincidente con el eje de la barra o el centro de la pelota, cualquiera que sea el bloque sobre el que se gira. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe ser de al menos 0,80 rad [45 °]. Los bloques de soporte y aplicación de carga se mantendrán en posición vertical y en contacto con la barra o la bola por medio de tornillos con resorte que los mantienen en contacto con la barra o bola pivotante. La varilla en el bloque de aplicación de carga central en la Fig. 1 puede omitirse cuando se usa un bloque de apoyo esférico.

5. Prueba 5.1 La muestra de prueba debe cumplir con todos los requisitos de la Práctica C31 / C31M o C192 / C192M aplicables a las muestras de haz y debe tener un alcance de prueba dentro del 2% de ser tres veces su profundidad según lo probado. Los lados del espécimen deben estar en ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de cicatrices, hendiduras, agujeros o marcas de identificación inscritas. 5.2 La persona que prueba las vigas de concreto para pruebas de aceptación debe cumplir con los requisitos de laboratorio de concreto de la Práctica C1077, incluido el Método de Prueba C293 / C293M como prueba relevante. NOTA 1: el laboratorio de pruebas que realiza este método de prueba puede evaluarse de acuerdo con la práctica C1077.

6. Procedimiento 6.1 Las pruebas de flexión de las muestras curadas en húmedo se realizarán tan pronto como sea posible después de retirarlas del almacenamiento húmedo. El secado superficial de la muestra da como resultado una reducción en el módulo de ruptura medido. 6.2 Gire la muestra de prueba de lado con respecto a su posición moldeada y céntrala en los bloques de soporte. Centrar.

El sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Ponga el bloque de aplicación de carga en contacto con la superficie de la muestra en el centro y aplique una carga de

entre 3 y 6% de la carga final estimada. Usando calibradores de hojas tipo hoja de 0.10 mm [0.004 pulg.] Y 0.40 mm [0.015 pulg.], Determine si algún espacio entre la muestra y los bloques de aplicación de carga o soporte es mayor o menor que cada uno de los medidores en una longitud de 25 mm [1 pulg.] O más. Esmerile, tape o use cuñas de cuero en la superficie de contacto de la muestra para eliminar cualquier espacio que exceda de 0.10 mm [0.004 in.]. Las cuñas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm [0.25 pulg.], 25 a 50 mm [1.0 a 2.0 pulg.] De ancho, y deben extenderse por todo el ancho de la muestra. Los espacios en exceso de 0,40 mm [0,015 pulg.] Se eliminarán solo mediante taponado o rectificado. La molienda de las superficies laterales se minimizará en la medida en que la molienda puede cambiar las características físicas de las muestras. El límite debe estar de acuerdo con las secciones aplicables de la Práctica C617. 6.3 Cargue la muestra continuamente y sin golpes. La carga se aplicará a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplique la carga de modo que la tensión máxima en la cara de tensión aumente a una velocidad entre 0.9 y 1.2 MPa / min [125 y 175 psi / min]. La velocidad de carga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{2 s b d^2}{3 L} \quad 1$$

dónde:

r = velocidad de carga N / min [lb / min]

S = tasa de aumento de la tensión máxima en la cara de tensión MPa / min [psi / min],

b = ancho promedio de la muestra orientada para la prueba, mm [pulg.],

d = profundidad promedio de la muestra según lo orientado para la prueba, mm [pulg.],
y

L = longitud del tramo, mm [pulg.].

7. Medición de muestras después de la prueba 7.1 Para determinar las dimensiones de la sección de muestra para usar en el cálculo del módulo de ruptura, tome medidas en una de las caras fracturadas después de la prueba. El ancho y la profundidad se miden

con la muestra orientada para la prueba. Para cada dimensión, tome una medida en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Use las tres medidas para cada dirección para determinar el ancho promedio y la profundidad promedio. Tome todas las medidas al 1 mm más cercano [0.05 pulg.]. Si la fractura ocurre en una sección tapada, incluya el grosor de la tapa en la medición.

8. Cálculo

8.1 Calcule el módulo de ruptura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad 2$$

dónde:

R = módulo de ruptura, MPa [psi],

P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de prueba, N [lbf],

L = longitud del tramo, mm [pulg.],

b = ancho promedio de la muestra, en la fractura, mm [pulg.], y

d = profundidad promedio de la muestra, en la fractura, mm [pulg.].

NOTA 2: el peso de la viga no se incluye en el cálculo anterior.

9. Informe

9.1 Reporte la siguiente información:

9.1.1 Número de identificación

9.1.2 Ancho promedio al 1 mm más cercano [0.05 pulg.], En la fractura

9.1.3 Profundidad media al 1 mm más cercano [0.05 pulg.], En la fractura

9.1.4 Longitud del tramo en mm [pulg.],

9.1.5 Carga máxima aplicada en N [lbf]

9.1.6 Módulo de ruptura calculado al 0.05 MPa [5 psi] más cercano,

9.1.7 Registro del estado de curado y humedad aparente de las muestras al momento de la prueba

9.1.8 Si las muestras se taparon, se rectificaron o si se usaron cuñas de cuero

9.1.9 Defectos en muestras

9.1.10 Edad de los especímenes.

10. Precisión y sesgo

10.1 Precisión: se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados de la prueba depende del nivel de resistencia de las vigas.³ Se ha encontrado que el coeficiente de variación del operador único es 4.4%. Por lo tanto, no se espera que los resultados de dos pruebas realizadas correctamente por el mismo operador en vigas hechas de la misma muestra de lote difieran entre sí en más del 12%. Se ha encontrado que el coeficiente de variación multilaboratorio es 5.3%. Por lo tanto, no se espera que los resultados de dos laboratorios diferentes en vigas hechas de la misma muestra de lote difieran entre sí en más del 15%. 10.2 Sesgo: debido a que no hay un estándar aceptado para determinar el sesgo en este método de prueba, no se hace ninguna declaración sobre el sesgo.

11. Palabras clave

11.1 vigas; hormigón; prueba de resistencia a la flexión; módulo de ruptura.

Fuente: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)

Anexo 33 Hormigón reforzado con fibras



CONCRETO

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

CONTENIDO

4 Fisuración del concreto y refuerzo secundario. Consideraciones iniciales.

6 Introducción a las fibras

7 Clasificación de las fibras

13 Principales aplicaciones

20 Mitos y leyendas alrededor de las fibras en el concreto

22 Normas actuales que rigen el empleo de las fibras

23 Bibliografía

FISURACIÓN DEL CONCRETO Y REFUERZO SECUNDARIO. CONSIDERACIONES INICIALES.

LA FISURACIÓN DEL CONCRETO ES UN FENÓMENO INDESEABLE CUYAS CAUSAS VAN DESDE VARIACIONES EN LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL, HASTA EFECTOS DE CAMBIOS TÉRMICOS. UNA FISURA DELATA REALMENTE LA “COMPETENCIA PERDIDA” ENTRE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL DE RESISTIR UN ESFUERZO FRENTE AL EFECTO DE UN ESFUERZO ACTUANTE.

La ingeniería, sin embargo, muchas veces cuenta de partida con la fisuración del material y digamos que en algunos casos la provoca. De esta forma, los elementos de concreto reforzado diseñados para trabajar en flexión (vigas, placas etc), dan por descontado en su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y se desprecia la resistencia a la tensión del material. El material exigido en este caso es el acero, en la parte inferior de la viga. El que el concreto de recubrimiento se fisure es normal y para algunos ingenieros estructurales prueba de que el acero ha asumido la mayor parte de la carga a tensión. Por supuesto las fisuras tienen un ancho máximo permitido tanto por consideraciones estéticas como de durabilidad de los elementos, en el caso de algunos códigos europeos y otros, éste ancho de fisura máxima, depende del medio ambiente y la durabilidad calculada para la estructura, sin embargo, el ancho permitido oscila entre 0 mm - 0.3 mm. La fisuración es así un mal con el que hemos aprendido a convivir como lo demuestra también el caso de los pavimentos donde la controlamos simplemente anticipándonos a las fisuras, con las juntas; que son como se ha dicho en muchas ocasiones, fisuras controladas. Las juntas son así los lugares donde las placas tienen el espacio para llevar a cabo los cambios dimensionales sin mayor restricción. Estos cambios dimensionales son producidos principalmente por la retracción del material en el tiempo (horizontal), por las dilataciones y contracciones de origen hídrico y térmico (alabeo, giro, horizontal-vertical) y claro por los movimientos verticales y horizontales producidos por las cargas. Por supuesto en la medida en que una estructura de concreto no se fisure es

mejor en cuanto a su durabilidad, la transmisión y continuidad de las cargas, la no concentración de esfuerzos y la estética de un concreto cada vez más a la vista. En algunos casos simplemente no se permite fisuramiento alguno, en la mayoría de estas circunstancias por consideraciones funcionales o estéticas. Si hemos diseñado una placa sobre terreno, calculado el espaciamiento entre las juntas, espesores y refuerzos y además hemos curado debidamente el material una vez ha sido colocado, lo último que queremos es que dichas placas entre las juntas, presenten cualquier tipo de cuarteo. Aun así, cuando el material inicia su proceso de retracción, la restricción del terreno (incluso con plásticos o aislantes) hace que se generen esfuerzos aleatorios, dentro del material (que es joven y débil), que en muchos casos terminan generando una red de fisuras indeseadas. La generación de estos cambios dimensionales a edad temprana, que se convierten en esfuerzos, tiene como causas más frecuentes: ' Pérdida prematura de agua por evaporación en superficie.' Pérdida prematura de agua por un sustrato absorbente.' Cambios térmicos (oscilación día-noche), o estacional. En una estructura de concreto a mayor edad, estos esfuerzos generados por cambios dimensionales, pueden tener causas similares como: ' Retracción del material por secado.' Cambios térmicos (oscilación estacional o día noche)' Ciclos de humedecimiento y secado.' Cargas externas de trabajo. El refuerzo estructural está destinado a controlar y asumir las cargas externas (estructurales) para las que se diseñó el elemento (momentos, cortantes, torsión), pero los esfuerzos generados por cargas producidas por retracción por secado, ciclos de humedecimiento y secado, los ingenieros estructurales los han resuelto usualmente empleando cuantías adicionales de refuerzo o mallas electrosoldadas. En el caso particular de placas y elementos de grandes superficies expuestas, el refuerzo más usualmente empleado para resolver los esfuerzos generados por retracción y temperatura son las mallas electrosoldadas.

La malla electrosoldada empleada como refuerzo secundario en placas sobre terreno (pisos y pavimentos) se posiciona en la mayoría de los casos en la mitad de la altura del elemento. A edades tempranas (horas) en la mayoría de las ocasiones la parte superior de la placa es la que se retrae más al desecarse y la malla se encuentra muy lejos de esta zona donde se generan los esfuerzos iniciales. Resulta así usual que con

la malla electrosoldada se presente una fisuración desordenada antes de las 24 horas (Tabla 1). Este es el caso de algunas placas para pisos y la mayor parte del concreto lanzado. Por ello alguno constructores, posicionan la malla en el tercio superior de la placa. Eso no elimina la existencia de un debate alrededor de la colocación de esta malla que otros constructores prefieren incluso localizarla en el tercio inferior del espesor. En estado endurecido la malla electrosoldada es más eficiente que en estado plástico, puesto que existe una mejor transmisión de esfuerzos a lo largo de la sección del elemento de modo que la malla puede asumir rápidamente esfuerzos inducidos por cambios hídricos o cambios térmicos, generados en la superficie. Aun así, las mallas empleadas como refuerzo secundario tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es dispendiosa (tiempo y mano de obra) pero más allá de esto, es el lugar sobre el que todos caminan en la obra y su colocación teórica en el plano termina siendo muy diferente cuando se vacían los elementos en la realidad. No es así extraño ver las mallas “calcadas” en la parte inferior de placas elevadas (donde se puede examinar por debajo) o mallas “calcadas” cerca de la superficie. Podríamos incluso atrevernos a afirmar que el que las mallas queden exactamente posicionadas donde las queremos corresponden a los casos menos frecuentes. De esta manera el refuerzo secundario (que no está destinado a asumir o resolver esfuerzos de flexión y cortante) queda alejado de los lugares que pretendemos proteger. Una placa alabeada sobre un terreno de forma convexa (día caluroso) con una malla lejos de la superficie no contribuye para nada a la cara expuesta a tensión por lo que podría fisurarse por el esfuerzo inducido. Debido justamente a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, hizo su irrupción en el concreto el uso de las fibras.

INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS

LAS FIBRAS SIEMPRE ESTUVIERON presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal entre otros. Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración) a los elementos. El uso de las fibras naturales como un componente más

en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910. Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbestocemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo, por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

LAS FIBRAS COMO REFUERZO secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, (ASTMC 1116, EN 14889. EN 14889-2 ver normas actuales que rigen el empleo de las fibras pág.26) hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación, así:

1. POR MATERIAL

FIBRAS METÁLICAS

Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).

FIBRAS SINTÉTICAS

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliester etc.

FIBRAS DE VIDRIO Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.

FIBRAS NATURALES Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

2. POR FUNCIONALIDAD, GEOMETRÍA Y DOSIFICACIÓN

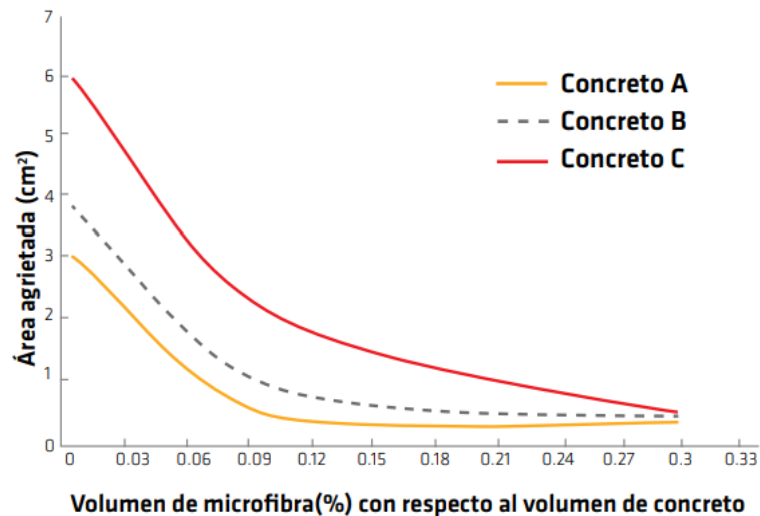
MICROFIBRAS Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0,03% a 0,15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno (Tipo SikaFiber®AD) cuya dosificación en peso oscila entre 0,3 a 1,2 kg/m³ de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0,023 mm a 0,050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier. Denier es el peso en gramos de 9.000 metros de una sola fibra.

La Tabla 1. expone los resultados de una reciente investigación [1] donde se compararon varios tipos de fibras (microfibras) frente a un concreto sin refuerzo (Patrón) y frente a ese mismo concreto reforzado con una malla electrosoldada (150 x 150_3,4 mm de diámetro). Esta investigación hecha sobre placas de un espesor de 50 mm, desarrollada bajo condiciones atmosféricas controladas, permite apreciar la altísima eficiencia de las microfibras para controlar la fisuración antes de las 24 horas. Así el número total de fisuras en el concreto sin reforzar fue de 166 mientras que, en el mismo concreto con apenas 900 g/m³ (45 g/m²), de microfibras A se redujo el número de fisuras a 9 y con las microfibras B a 2 junto con áreas de fisuración despreciables [1].

Tabla 1. Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento. (Fisuración Plástica). Entendiendo área de fisuración el producto entre la longitud de la fisura y su ancho.

[1] Trottier, J. F., Mahoney, M., y Forgeron D. “¿PUEDEN LAS FIBRAS SINTÉTICAS REEMPLAZAR LA MALLA ELECTROSOLDADA EN LOSAS SOBRE TERRERO?”. Concrete International, noviembre 2002. ACI- Seccional Colombiana. Boletín No. 11 2008 ACI Publicaciones Técnicas

Figura 1. Áreas de fisuración a las 24 horas para concretos con diferentes niveles de reforzamiento de microfibras de polipropileno (Tipo SikaFiber®AD)



La Figura 1. expone igualmente los resultados de otro estudio independiente [2] donde se aprecia cómo un 0.09% de microfibras (equivalente a 1 kg/m³ v.g. SikaFiber®AD) reduce el área de fisuración de 3 cm² a menos de 0.5 cm² y con 0,12% de dosificación prácticamente desaparece todo rastro de fisuración. Como vemos las microfibras son una excelente y muy económica forma de prevenir la fisuración antes de las 24 horas. Es por ello que su uso resulta muy extendido sobre todo en pisos, pavimentos, prefabricados y en general a todos los materiales cementicios, con una relación superficie expuesta/volumen alto. Si bien las microfibras en general reducen dramáticamente la tendencia a la fisuración o simplemente la eliminan antes de las 24 horas (retracción plástica), en la mayoría de las ocasiones hacen que el concreto en estado fresco, en apariencia, pierda manejabilidad o asentamiento. Es decir que el concreto reforzado con fibras puede generar problemas frente a a superviciones e interventorias a la hora de aceptar el concreto. Sika Colombia entendiendo esta dificultad, diseñó SikaFiber®AD, esta microfibra en particular cuenta con un componente que le restituye a la mezcla de concreto el asentamiento perdido por la

adición de la microfibras. SikaFiber®AD, le otorga al concreto todos los beneficios de una microfibras sin que el concreto pierda un mm en el cono de Abrams.

Las figuras 2 y 3 muestran la eficiencia de SikaFiber®AD, luego de 24 horas de exposición a una velocidad de viento de 2 m/s. Se trata del mismo concreto solo que a una fracción de éste se le agregó 1 kg/m³ de SikaFiber®AD. (Laboratorio Sika-Colombia / 2009, Estudio de retracción plástica).

Figura 2. Concreto 4000 psi a las 24 hrs, expuesto a viento de 2 m/s



Figura 3. Concreto 4000 psi a las 24 hrs con SikaFiber®AD, expuesto a viento de 2 m/s



[2] Batai Z., McIntyre M., Application of Fibrillated Polypropylene Fibers for Restraint of Plastic Shrinkage Cracking in Silica Fume Concrete, ACI Materials Journal July-August 2002)

MACROFIBRAS

Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0,2% a 0,8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0,05 mm a 2,00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100.



Las macrofibras pueden ser metálicas (Tipo SikaFiber® CHO 65/35), sintéticas (Tipo SikaFiber® Force PP/PE 700-55 y SikaFiber® Force PP65) o naturales. Las dosificaciones en términos de peso varían así de acuerdo con la densidad del material, las fibras de acero requieren entre 20 a 50 kg/m³ de concreto y las fibras sintéticas (polipropileno) entre 2 a 9 kg/m³. Las macrofibras actúan en estado endurecido, es decir antes de las 24 horas no tienen mayor efecto. Las macrofibras se incluyen y mezclan en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión. Para las dosificaciones y volúmenes antes mencionados, las macrofibras metálicas o sintéticas no alteran la resistencia a la compresión y lo hacen de una manera muy leve (o despreciable) sobre las resistencias a la tensión y flexión.

Es oportuno preguntarnos ¿entonces las macrofibras para qué se usan? En realidad, las macrofibras se incluyen en el concreto para aumentar la tenacidad del material, es decir para hacer que las estructuras, incluso después del agrietamiento de la matriz, puedan seguir siendo cargadas. La tenacidad es una propiedad que describe de una manera más completa la capacidad de un material para soportar cargas antes de colapsar. El ejemplo que puede ilustrar el concepto de tenacidad lo constituye un alambre y un caucho de la misma geometría (v.g. 10 cm de longitud). Si se toman los extremos de un caucho con dos dedos de cada mano y se separan las manos el caucho se tensiona, si les aplican

más carga separando aún más las puntas, el caucho se tensiona un poco más, pero al mismo tiempo.

su deformación crece increíblemente. Si se continua y separo aún más los extremos (equivalente a la aplicación de una carga externa) el caucho se deforma aún más. Si se tensiona al extremo y se estiran completamente los brazos, el caucho se deformará mucho más y el nivel de tensión crecerá en el también (es decir, al mismo tiempo crecen tensión y deformación). Así el nivel de esfuerzo interno que alcanza el caucho al momento de la falla es bajo (la resistencia a la tensión del material es baja) pero la deformación ha sido gigantesca en este caso abriendo completamente los brazos. Al repetir el mismo ejercicio con un alambre de iguales medidas, se aplicará la misma acción (o carga externa) es decir una fuerza equivalente que trata de estirar los brazos completamente, mientras se sujeta el alambre de ambos extremos. El alambre se tensionará igual, pero en vez de permitir una gran deformación se resiste y convierte dicha acción en un esfuerzo interno creciente hasta que falla sin haberse deformado más de 0,5 mm. En este caso el esfuerzo interno en el material al momento de la falla es muy alto, pero la deformación es muy baja. ¿Qué material resistió más? Si solo hablamos en términos de esfuerzo (kg/cm^2) sin duda el material más resistente fue el acero, puesto que el caucho incrementó su nivel de esfuerzo lentamente (todo era deformación) y falló a un nivel muy bajo de tensión. Para el nivel de tensión que el caucho falló, el acero apenas si es exigido, sin embargo, para llegar a ese nivel de esfuerzo, el caucho tuvo que deformarse mucho, había tenido lugar una enorme acción sobre el material (prácticamente los brazos estaban totalmente extendidos), eso hace que el caucho sea capaz de resistir cargas muy grandes sin fallar, puesto que las transforma en deformación. Es decir, el caucho tiene una gran capacidad de “absorber” cargas externas sin fallar convirtiéndolas en deformación. El acero también tiene una enorme capacidad de “absorber” cargas sin fallar, pero no las transforma principalmente en deformación sino en un esfuerzo interno que es capaz de soportar. Así para describir un material y su capacidad de “absorber” cargas externas es necesario tener en cuenta simultáneamente la capacidad del mismo tanto para deformarse como para resistir el esfuerzo frente a la acción de dicha carga. La

propiedad que cuantifica la doble acción de deformación y capacidad de resistir un esfuerzo es la tenacidad, que es exactamente el producto de la resistencia y la deformación. En un plano cartesiano de Carga y Deformación es entonces el producto o el área bajo la curva. (Fig. 4 y 5) Esto nos lleva a la vieja definición donde una fuerza aplicada (carga) por distancia (deformación) en un tiempo dado, es justamente Energía [$F \times d / t$]. La tenacidad es la capacidad de absorción de energía de un material. [3].

El concreto fibroreforzado (con macrofibras) tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, si ambas matrices tienen la misma resistencia (prácticamente igual), para ser más tenaz, el concreto fibroreforzado no le queda otra alternativa que deformarse más antes de la falla (hacer las veces un poco del caucho). Esta deformación adicional con la que cuenta el concreto fibroreforzado, después del agrietamiento. Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente falla, colapsa (y la estructura también) es decir, no hay continuidad en la estructura y los pedazos pueden caer, como en el recubrimiento de concreto lanzado en un túnel o saltarse como en la placa de un piso. Como vemos el concepto de falla en la estructura cambia. En un concreto no fibroreforzado la falla y colapso ocurren con la primera fisura principal; mientras que en un concreto microreforzado, la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal. El concreto fibroreforzado le permite a la estructura, después de la fisuración, continuar “absorbiendo” carga (ya sea de las llantas de una tractomula, la pata de una estantería, o el empuje de un terreno) sin colapsar. Le permite a la estructura continuar funcionando. La Figura 4 expone la relación Carga vs. Deformación de cuatro placas que se cargan paulatinamente con un gato hidráulico cuya deformación se mide como la deflexión bajo el elemento en el centro de la luz. Como puede verse la curva roja correspondiente a un concreto sin refuerzo falla definitivamente y la estructura colapsa para un nivel de carga y deformación dados (los más bajos del gráfico). En el caso del mismo concreto con 3 kg/m^3 de macrofibra sintética (SikaFiber®Force PP/PE 700-55), la falla de la matriz.

Figura 4.

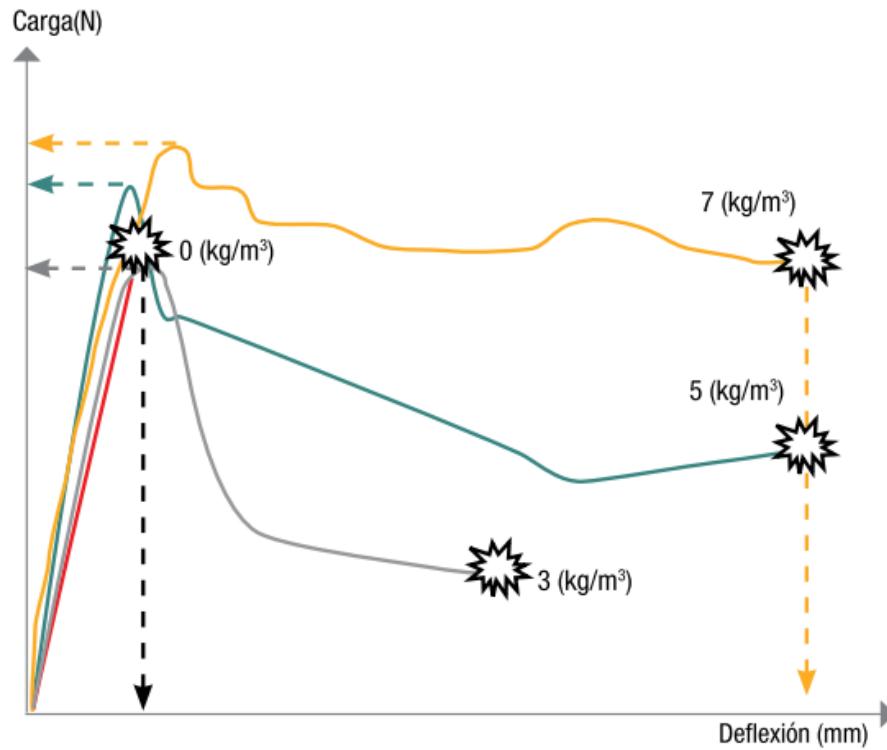
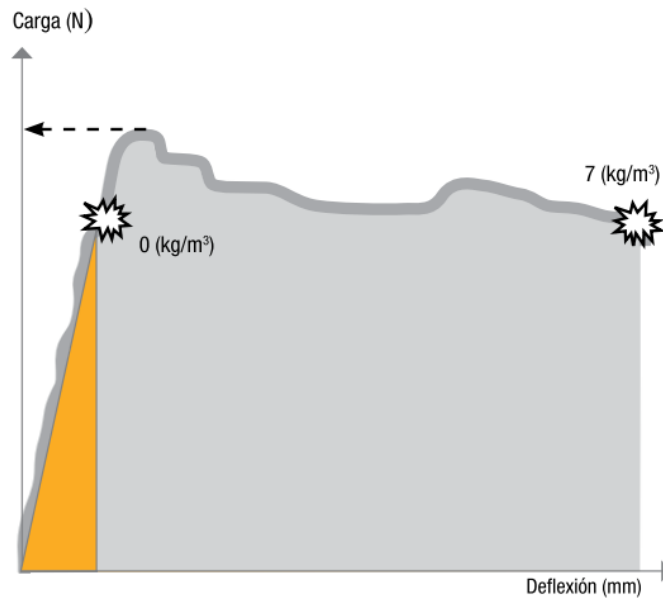


Figura 5. Tenacidad de concreto fibroreforzado y sin reforzar



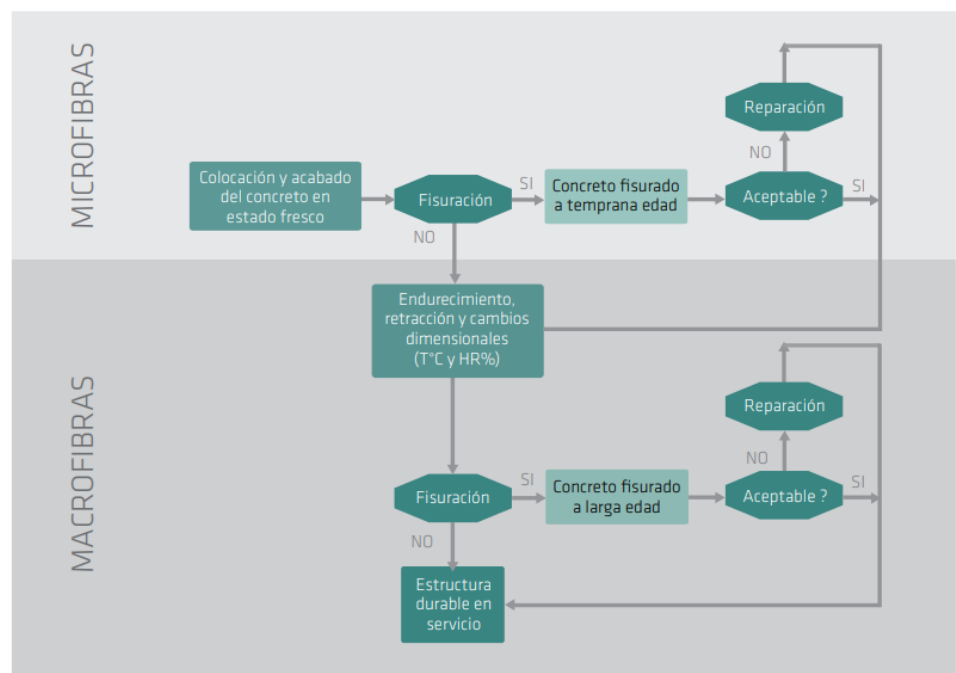
(aparición de la primera grieta) tiene lugar al mismo nivel de carga, pero la estructura libera la carga y la “absorbe” como una gran deflexión repentina (en el pistón del gato se libera igualmente la carga) y continúa funcionando. El pistón en esta curva gris continúa empujando, pero el nivel de carga (esfuerzo) no se puede elevar porque se transforma principalmente en deformación hasta que el elemento colapsa (se separa). Si al mismo concreto se le agrega 5 kg/m^3 de macrofibra (SikaFiber®Force PP/PE 700-55), la aparición de la primera fisura tiene lugar a un nivel de carga similar a las anteriores la primera absorción de energía importante tiene lugar (gran deflexión) y luego mantiene un alto nivel de esfuerzo deformándose hasta colapsar. Idéntico caso tiene lugar con 7 kg/m^3 solo que la estructura luego de la primera fisura es capaz de seguir deformándose con un nivel de esfuerzo aún más alto. (Carga-Deflexión). En términos de tenacidad podemos ver Figura 5 que el material más tenaz es el que contiene 7 kg/m^3 puesto que es el que encierra la mayor área bajo la curva. La tenacidad es una propiedad altamente apreciada en estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos de concretos lanzados en taludes y túneles, elementos expuestos a cargas altas en tiempos cortos (explosiones). Algunos códigos (EN 14487) de diseño de concreto lanzado ya consideran la tenacidad (energía) en el diseño del recubrimiento (Grimstad-2002).

Los concretos con fibras son capaces de “absorber” enormes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas ($> 1\%$ del volumen) se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100 kg/m^3 de fibras metálicas o más de 10 kg/m^3 de fibras sintéticas) que pueden actuar como “amortiguadores” en bases de edificaciones. Estas aplicaciones sin embargo no son las más frecuentes, pero prometen aplicaciones nuevas y diversas para los próximos años. Las fibras hoy en día se emplean en aplicaciones donde sus dosificaciones aumentan la tenacidad del material y reducen la tendencia a la fisuración tanto a primeras edades (SikaFiber®AD) como a larga edad (SikaFiber®Force PP/PE 700-55).



En la actualidad se emplean como un refuerzo secundario para reemplazar la malla electrosoldada en la mayoría de los casos.

¿EN DÓNDE ACTÚAN LAS FIBRAS?



PRINCIPALES APLICACIONES

PISOS Y PAVIMENTOS

Las microfibras (SikaFiber®, SikaFiber®AD) han encontrado su campo natural de uso y aplicación en estructuras donde la relación superficie/volumen es muy alta. De alguna forma si estamos interesados en “secar” concreto existen pocas configuraciones que sean más eficientes para evaporar, diferentes a las de extender el material dándole un bajo espesor. Esto hace que pavimentos, pisos y morteros de nivelación sean estructuras muy susceptibles a fisurarse durante las primeras etapas de fraguado y endurecimiento. Las microfibras a pesar de su baja dosis en masa ($< 1 \text{ kg/m}^3$ de concreto) representan una verdadera dispersión de millones de fibras dentro de la matriz del concreto que absorben los micro esfuerzos generados por la retracción plástica e impiden que nazca o se propague la fisuración. Entre más delgada sea la aplicación menos costosa será la inclusión por metro cuadrado y más eficiente será su funcionamiento. El uso de las microfibras no exime al constructor de curar el concreto (su costo por metro cuadrado puede ser similar), pero se constituye en un factor de seguridad adicional muy apreciado en la construcción. Mindess et al [4], a comienzo de la década reportaron en el caso de las microfibras, que el 60% de las aplicaciones de las fibras se emplean en placas sobre terreno como refuerzo secundario.

Las macrofibras en pisos y pavimentos reemplazan la malla electrosoldada que es colocada en el centro del espesor (otros autores prefieren localizarla en el centro del tercio superior), destinada a absorber los esfuerzos de temperatura y retracción en dichos elementos. Las mallas electrosoldadas se han usado para resolver los esfuerzos secundarios en pisos y pavimentos. Sin embargo, su almacenamiento, transporte y colocación (¡correcta!) ha sido una fuente de dificultades en las obras, por no mencionar la inversión en mano de obra y tiempo. Justamente para resolver estos inconvenientes las macrofibras logran reemplazar el efecto de la malla. Las macrofibras en pisos y pavimentos previenen la aparición de fisuras a larga edad (en estado endurecido), si la fisuración tiene lugar impiden el incremento en el ancho de la misma,

pero más importante aún permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar su tenacidad. Este hecho multiplica la vida útil de la estructura.

Los valores representan las dosis de fibras basadas en un esfuerzo de fluencia (f_y), donde $f_y = 5250 \text{ Kg/cm}^2$ para la malla y 4200 Kg/cm^2 para las barras.

El refuerzo se asume a la mitad del espesor de la placa.

El espaciamiento en las juntas de retracción debe seguir las guías del ACI (ver ACI 302 y ACI 360).

El espesor de la placa debe estar basada en los requerimientos del diseño del ACI y la PCA para placas de contrapiso.

La dosis mínima de SikaFiber®Force PP/PE 700-55 es de 2.4 Kg/m^3 y máxima de 5 Kg/m^3 . (Para cantidades fuera de este rango consulte con el Departamento Técnico de Sika Colombia).

Los valores que están en blanco en la tabla están basados en los valores de esfuerzo residual promedio de la ASTM C 1399

Para placas de un espesor mayor a 20 cm consulte el Departamento Técnico de Sika Colombia.

No especifique SikaFiber®Force PP/PE 700-55 para:

Incrementar el espaciamiento más allá de las guías del ACI o del PCA

Reemplazar acero de refuerzo para niveles estructurales

PREFABRICADOS

Para elementos prefabricados cuyas dimensiones y espesores están optimizadas, las fibras han sido desde la década de los setenta un elemento común. El transporte, la colocación de estos elementos hacen que sean susceptibles a desportillamientos, agrietamientos y descascamientos. Las fibras (micro y macro) en estos casos resultan muy útiles debido a que el agrietamiento de los elementos se reduce y si tiene lugar, le permiten a la unidad continuar funcionando sin desecharla. En el caso particular de

elementos aligerados de bajas densidades, las microfibras se han usado históricamente para disminuir su fisuración en estado fresco, pero también para mejorar el monolitismo del material y hacerlo menos “frágil”, es decir para aumentar su capacidad de deformación, hacerlo más “dúctil” antes de que se produzca la falla. Las aplicaciones de fibras en tuberías, vigas, prelosas, micro como macro son un hecho cotidiano puesto que les permiten a dichos elementos eliminar o convivir con la fisuración. Las fibras de asbesto empleadas en la fabricación de elementos tan esbeltos como tejas o láminas, se usaron durante muchos años hasta que surgieron inquietudes acerca de consideraciones de salud por la presencia de este material. Hoy en día las fibras de polipropileno, nylon, polietileno, metal etc., que son inocuas frente a la salud humana, se emplean con fines similares en la producción de prefabricados. Tanto en la prefabricación pesada (pilotes, postes, dovelas, vigas) como en la prefabricación liviana (ladrillos, láminas, etc.). Elementos de prefabricación pesada como dovelas para túneles hechos con TBM, han incorporado macrofibras para reemplazar parte del acero secundario, aumentando los volúmenes de producción.

CONCRETO LANZADO

Al igual que en pisos y pavimentos en concreto lanzado las macrofibras sustituyen la malla electrosoldada, que en este caso se constituye en parte de la ruta crítica de un ciclo de excavación. Los tiempos de ahorro que representan eliminar la colocación y fijación de la malla justifican ampliamente la diferencia en costo por metro cuadrado del material colocado.

Sin embargo, más allá del aumento en el rendimiento de excavación, el uso de las fibras como refuerzo permite un ahorro muy importante en la cantidad de concreto lanzado debido a que pueden seguirse estrictamente los espesores del concreto colocado (Ver Fig. 6). La condición de seguir estrictamente el perfil de la excavación sin preocuparse por el cubrir (sepultar) la malla, no solo se convierte en un ahorro evidente de material sino al mismo tiempo en un ahorro de tiempo.

Ensayo EFNARC para determinar la absorción de energía en concreto lanzado. EN (14488- 5) ver normas actuales que rigen el empleo de las fibras pág.26

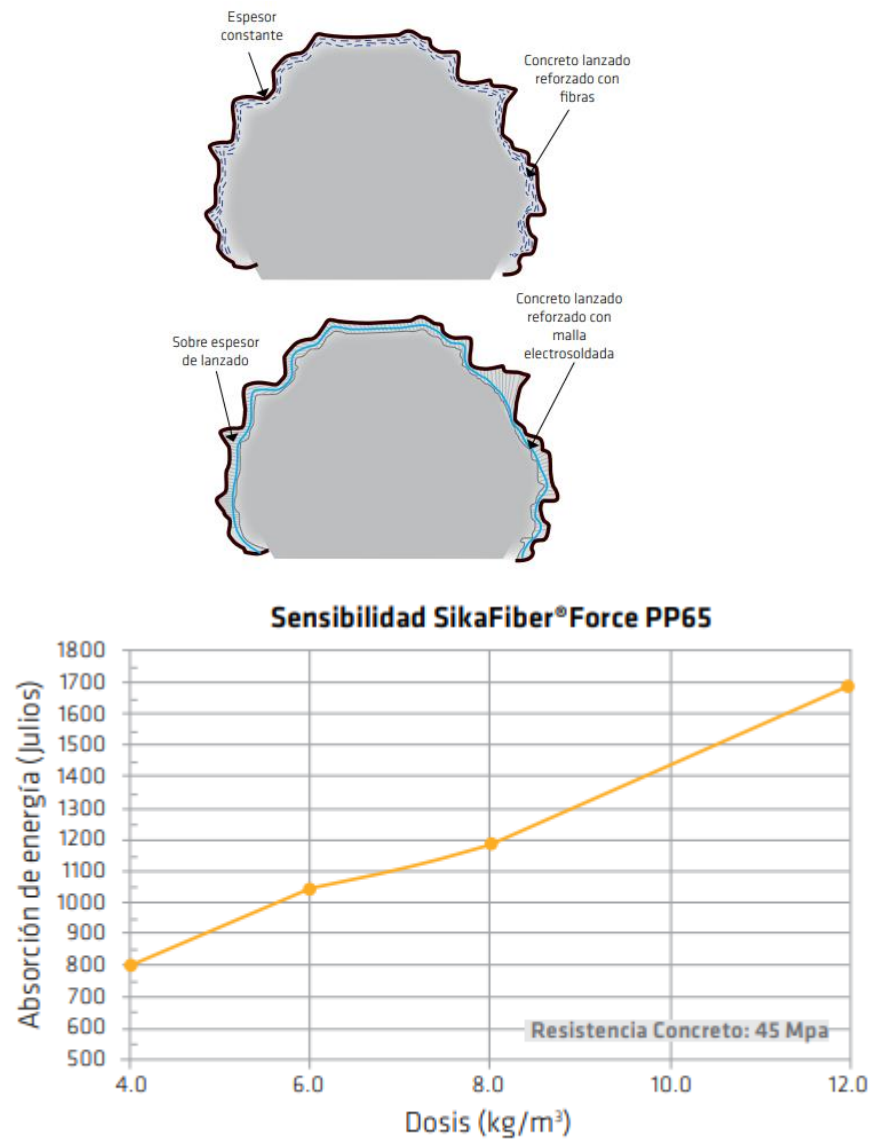


Interior de la falla, nótese las fibras perpendiculares al plano de falla cuyo anclaje se perdió.

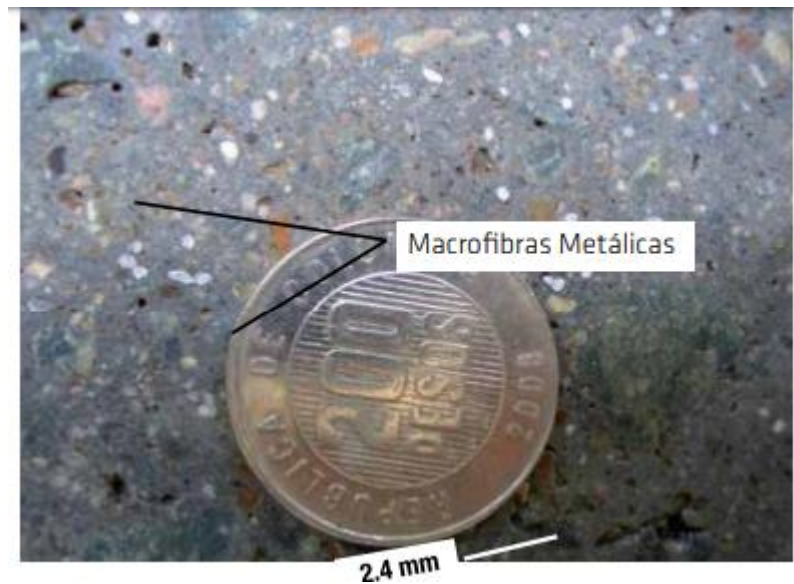


El interés de cualquier constructor de túneles es disminuir la excavación al máximo y sin duda el control de espesores es un capítulo de vital interés en la concepción y construcción de estas obras subterráneas.

Las macrofibras metálicas o sintéticas (SikaFiber® CHO 65/35, SikaFiber® Force PP65) han sido profusamente usadas en el mundo como refuerzo en el concreto lanzado para todas las aplicaciones (taludes, túneles, reparación, reforzamiento etc).



Fibra metálica en concreto lanzado rodeada completamente por la matriz del concreto.



En aplicaciones hidráulicas las fibras sintéticas han logrado una acogida importante debido a que no se oxidan [5], ni generan residuos de óxido que en algunas ocasiones manchan la superficie del concreto. Particularmente en aplicaciones tuneleras, las microfibras de polipropileno, han demostrado una ventaja adicional que va más allá del comportamiento mecánico del material, la resistencia al fuego. Los incendios en un túnel corresponden probablemente a una de las situaciones de riesgo más complejas para este tipo de estructuras debido a la difícil renovación del aire, a la acumulación de calor y al hecho de que el concreto a partir de cierta temperatura (350 °C dependiendo de la porosidad y la humedad presente en el material), empieza a “disparar” a gran presión trozos superficiales de material.

Prueba de resistencia al fuego de paneles de concreto reforzado con fibras [6]



Los catastróficos incendios ocurridos en el túnel del Gran Cinturón en Dinamarca (1994), en el túnel bajo la Mancha (1996) y el de Dartfort (1999) entre otros, obligaron a la construcción a buscar alternativas que hiciesen estas estructuras más seguras. Las microfibras específicamente de polipropileno en dosificaciones de 1 kg/m^3 de concreto han demostrado una disminución o eliminación del descascaramiento explosivo de la superficie del concreto, debido a que a una temperatura de 160°C el material se funde y permite al vapor atrapado al interior del material salir al exterior eliminando o disminuyendo las presiones que genera este vapor al interior del material.

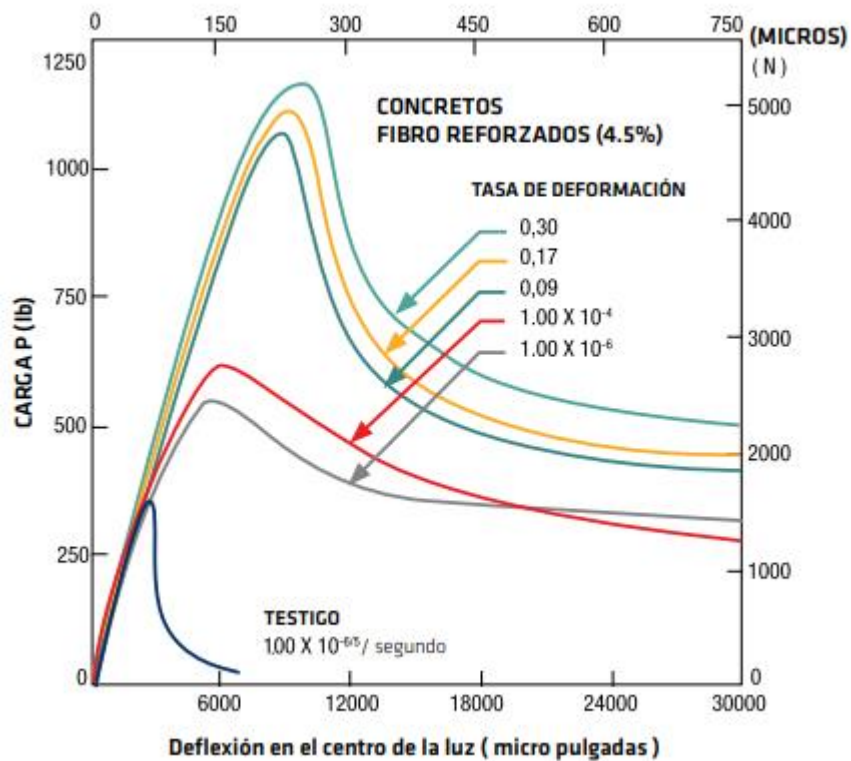


CONCRETOS RESISTENTES A EXPLOSIONES

Todas las explosiones funcionan bajo un mismo principio. Un material inestable líquido o sólido se expande dentro de un gas en un lapso de tiempo extremadamente corto (milisegundos), de modo que ocupa un volumen entre cientos a miles de veces mayor de su volumen original. Los gases empujados por la explosión impactan la

atmosfera alrededor del punto de detonación creando un importante y muy rápido frente de presión, algunos llaman este frente, onda de choque. Esta sorpresiva y extremadamente rápida carga impacta las estructuras y materiales con una magnitud que depende de la distancia y claro, del tamaño de la detonación. Un elemento de concreto al recibir este tipo de cargas (dinámicas y cíclicas) podría evitar colapsar apelando tanto a su capacidad de resistencia mecánica como a su capacidad de deformación. Ambas respuestas (generación de esfuerzos internos y generación de deformaciones) absorben la energía ($\text{carga} \times \text{distancia} / \text{tiempo}$) de esta súbita carga hasta sus límites. Un concreto reforzado de la manera convencional cederá fácilmente el concreto de recubrimiento y aún más material dependiendo de la magnitud de la explosión. Esto se debe justamente a que la capacidad de deformación del concreto en general es muy limitada (v.g. 0,02%), un concreto reforzado con fibras le permite al material llegar a su máxima resistencia a la tensión fallar y seguir funcionando deformándose (fisurado) de modo que el elemento no colapsa. Una vez más se aprovecha el incremento en la tenacidad del material para mejorar la resistencia del mismo en la fase postfisuración. Los depósitos de explosivos o polvorines, las estructuras que pueden ser susceptibles a ataques externos, tanto de explosiones como de proyectiles suelen incorporar fibras (macrofibras) a la composición del concreto mejorando la resistencia al impacto del material. La figura 7 [7] expone la relación Carga vs. Deflexión de una viga sometida a impacto (a diferentes velocidades). La figura muestra que a la misma velocidad de carga 1×10^{-6} micro deformaciones/segundo, el concreto reforzado con fibras (volumen de 1,5%) de acero no solo fue capaz de deformarse más antes de la primera fisura (de $75 \mu\text{m}$ a $150 \mu\text{m}$) sino que a su vez su resistencia a la primera fisura se multiplicó por un factor cercano a 1.5 (de 1500 N a 2300 N). Igualmente, el comportamiento después de fisuración es muy superior al concreto que no cuenta con las fibras, la tenacidad y la absorción de energía se incrementan de una forma dramática.

Figura 7. Relación Carga vs. Deflexión de una viga sometida a impacto (a diferentes velocidades)



A medida que se aumenta la velocidad de carga, la resistencia dinámica del concreto reforzado con fibras aumenta en más de un 100% y su capacidad de absorción de energía con ella hasta en un 70% para la velocidad más alta de 300.000 microdeformación/seg (0,3). Las fibras son un refuerzo tridimensional cuya repartición es aleatoria y le permiten a la carga atacar la estructura en cualquier dirección sin que tenga que estar direccionado en un plano como el uso del refuerzo convencional.



CONCRETOS DE ULTRA-ALTA RESISTENCIA

Los concretos de ultra-alta resistencia o concretos de polvo reactivos son aquellos cuya resistencia se encuentra entre 1200 kg/cm^2 a 1800 kg/cm^2 . Estos concretos de resistencias extremas al fallar lo hacen de una manera explosiva puesto que su capacidad de deformación es baja (son frágiles), si se considera que sus módulos elásticos están por encima de los 500.000 kg/cm^2 . El uso de fibras en los concretos de polvos reactivos elimina la falla súbita y le confiere al material una mayor ductilidad. Las fibras que se emplean en los concretos de ultra alta resistencia o BPR (Béton des Poudres Reactives) tienen en general una longitud entre 4 mm y 15 mm con un diámetro cercano a 0.2 mm de acero de alto carbono. La cantidad es muy superior a la empleada para aplicaciones normales considerando que por metro cúbico de concreto se utilizan cuantías cercanas a los 160 kg/m^3 , es decir para un volumen aproximado del 2%. Para semejantes niveles de dosificación las fibras tienen un aporte importante tanto en la resistencia a la flexión, como a la compresión y corte [8].

Prueba a la flexión de concreto con fibras para un Módulo de Ruptura de 200 kg/cm^2 .



Falla de concreto de ultra alta resistencia, sin fibras



Falla de concreto de ultra alta resistencia, con fibras



MITOS Y LEYENDAS ALREDEDOR DE LAS FIBRAS EN EL CONCRETO

LAS FIBRAS INCLUIDAS EN UN MORTERO O EN UN CONCRETO TANTO COMO MICRO O MACROREFUERZO, HAN GENERADO UNA SERIE DE CREENCIAS QUE SE HAN CONVERTIDO EN COMPLEJAS CONFUSIONES O MALINTERPRETACIONES. EL SIGUIENTE RÁPIDO CONTRAPUNTEO ACLARA ALGUNOS DE ESTOS MITOS.

MICROFIBRAS

1. Las microfibras disminuyen la retracción del concreto (en estado plástico como endurecido).

No lo hacen, incluso pueden aumentarla, sin embargo, lo que hacen es absorber los esfuerzos internos que estos cambios dimensionales provocan y minimizan o eliminan la fisuración.

2. Las microfibras previenen las fisuras a largo plazo en el concreto.

No lo hacen, su principal acción tiene lugar en estado plástico o hasta pocas horas después del fraguado final. Estas fibras evitan o disminuyen las fisuras por retracción plástica, no las generadas por retracción a largo plazo la misma que obliga a hacer juntas en pavimentos y pisos. Las microfibras no influyen así sobre la existencia o espaciamiento de las juntas.

3. Disminuyen la manejabilidad y/o la trabajabilidad del concreto.

Esta idea está relacionada con el hecho de que en el cono de Abrams disminuye el asentamiento. En realidad, un concreto fibroreforzado (CFR), se “rasga” al efectuar la medida de asentamiento. Este ensayo no es adecuado para calificar la trabajabilidad de un CFR, por ello se han diseñado otros (como el cono invertido con vibrador- ASTM C 995), claro con menos éxito y menos conocidos. Sin embargo, si bien es cierto que la mezcla se “amarra” no es más difícil colocarla y consolidarla dentro del encofrado, un poco de energía y fluirá igual que el mismo concreto, el CRF aumenta su valor de “cohesión” o “flujo” para salir del reposo y fluir. Aunque claro existen fibras especialmente adicionadas que eliminan este efecto y fluyen igual en la prueba del cono de Abrams facilitando el control de calidad y pasar el examen de un supervisor.

4. Reemplazan la malla electrosoldada.

Las microfibras no reemplazan la malla electrosoldada, diseñada como refuerzo secundario para asumir, en estado endurecido esfuerzos generados por retracción, temperatura y cambios en la humedad dentro de un elemento de concreto.

5. Reemplazan el curado.

No. Si bien es cierto que en caso de ausencia de éste minimizan o eliminan la fisuración temprana, el curar tiene un efecto hidratante sobre la superficie que la sella contra gases y líquidos. El curado y las microfibras se complementan.

6. Aumentan la resistencia a la abrasión.

Las microfibras no están diseñadas ni se usan con esa intención y en realidad no lo hacen.

MACROFIBRAS

7. Se deben dosificar y comparar por peso los diferentes tipos de macrofibras.

En realidad, para comparar fibras de materiales muy diferentes (acero, polipropileno, nylon, vidrio, carbono etc) lo mejor es contemplar el volumen de dosificación no su masa. Así 40 kg de fibra de acero (densidad 7.8 kg/L) ocupan por m³ de concreto un volumen de 5.1 L/m³. Las fibras de polipropileno (densidad 0.91 kg/L) necesitan entonces apenas 4.65 kg/m³ para ocupar el mismo volumen.

En ambos casos tendrían así una dosificación similar (relación de densidades). Aunque en realidad las dosis equivalentes no son estrictamente la relación de densidades, si se le aproximan (Acero/ polipropileno = $7.8/0.91 = 8.6$ veces).

8. Aumentan la resistencia a la flexión... y a la compresión si son metálicas.

Ni lo uno ni lo otro, cuando se dosifican en los rangos usuales para pisos y concretos lanzados (0,2% al 0,8% del volumen del concreto). Lo que falla es la matriz del concreto, la pasta de cemento.

9. Reemplazan el acero estructural.

Una vez más a las dosis usuales empleadas no reemplazan el acero estructural, como las barras de acero a flexión.

10. No pueden reemplazar ningún refuerzo.

No es cierto, las macrofibras han demostrado (a las dosis de entre 0,2% a 0,8%) que pueden reemplazar el efecto de la malla electrosoldada empleada en pisos y concreto lanzado para asumir los esfuerzos de retracción y temperatura. Las macrofibras reemplazan este refuerzo secundario (cuantías inferiores al 0,4%), con un desempeño más eficiente que la misma malla electrosoldada debido a que es un refuerzo tridimensional que permite proteger el elemento en todas las direcciones.

11. Las macrofibras no actúan sino luego de la fisuración.

En buena parte es cierto, la capacidad de retardar la aparición de una fisura es muy limitada, solo que después de que ha tenido lugar no permiten que se continúe abriendo.

Así por un lado el patrón de fisuración (por retracción y temperatura) es el de muchas microfisuras (no el de una gran discontinuidad) que no se abren. Definitivamente el efecto más importante de las macrofibras tiene lugar post-fisuración donde continúan transmitiendo los esfuerzos en el elemento y limitan el crecimiento del ancho de la misma.

12. Las fibras sintéticas tienen un desempeño inferior a las metálicas.

No es cierto, las sintéticas alcanzan y pueden superar la capacidad de disipación de energía de las metálicas especialmente en altas deformaciones. Igualmente pueden lograr niveles de tenacidad más altos que las metálicas, para costos similares. Por otro lado, no desgastan los equipos, no se corren (mayor tiempo y facilidad de almacenamiento) y protegen mejor el concreto frente al fuego.

13. Las fibras no pueden aumentar la resistencia a la compresión, flexión o corte.

Si pueden hacerlo para cuantías de por lo menos que triplican las más altas usadas actualmente ($>1,5\%$) que implican otro tipo de dificultades... como mezclar dichos concretos! Aunque en el caso de resistencia al corte si pueden obtenerse algunos incrementos sin llegar a tan altas dosificaciones.

14. Lo más importante es garantizar que el material que constituye la fibra sea el más resistente posible. No es cierto, si bien es importante que el material de la fibra tenga una resistencia a la tensión y corte mayores a las de la pasta de cemento entre la que se halla inmersa, lo más importante en una fibra es su capacidad de anclaje o adherencia a dicha pasta.

15. Las macrofibras aumentan la permeabilidad del concreto.

Al contrario, podría decirse que la disminuyen porque su función es justamente la de prevenir la aparición de fisuras, pero sobre todo restringir el ancho de la fisura, que está justamente al cuadrado con el caudal que pasa.

16. No se pueden combinar las microfibras con las macrofibras.

Al contrario, son una excelente mezcla para evitar la fisuración en estado fresco (micro) y para limitar las de estado endurecido (macro).

17. Es muy difícil cortar las juntas en pisos reforzados con macrofibras.

Hay que tener claro más cuidado, sobre todo en el caso de las metálicas y llevar el disco no a $\frac{1}{4}$ del espesor sino ojalá a $\frac{1}{3}$ del mismo.

18. No se puede incrementar el espaciamiento entre juntas con las macrofibras.

Si se puede (ACI 302) sobre todo en espacios interiores.

19. Las macrofibras sólo se pueden usar en losas sobre terreno.

No es cierto, el lanzado es la mejor prueba de la espacialidad de dicho refuerzo, hoy en día ya reemplazan refuerzos secundarios en losas aéreas.

20. Las macrofibras solo aumentan la tenacidad del concreto.

No, las contribuciones a la resistencia a la fatiga (cargas cíclicas) y al impacto son muy importantes (>50%) para las dosis de macrofibras de entre 0,2% a 0,8% del volumen del concreto.

21. Las macrofibras son refuerzo picado o en trozos que puedo bombear junto con el concreto.

El análisis estructural no puede ver la fibra calculando la cuantía de área acero de fibra por unidad de área de concreto, la aproximación al refuerzo es completamente diferente, de allí a que sean empleadas como refuerzo secundario.

Fuente: SikaFiber®AD