

Sobre la expectativa de fisuras en un piso industrial de hormigón

R. Pombo^a y R. Zerbino^{b*}

^aAsesor en pisos industriales; pavimentos y tecnología del hormigón. Bautec S.A. CP B1643, Beccar, Argentina. robertopombo04@gmail.com

^{b*}Investigador, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina. Laboratorio Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. CP 1900, La Plata, Argentina. zerbino@ing.unlp.edu.ar

Recibido: 30 de marzo de 2021

Aceptado: 12 de mayo de 2021

RESUMEN

La existencia de fisuras o microfisuras es una característica inherente al hormigón. Pretender o requerir la ausencia total de fisuras en pisos y pavimentos industriales de hormigón se transforma en algo impracticable. La dificultad es que las discusiones francas sobre las diferencias entre fisuras aceptables y no aceptables rara vez se abordan antes de la ejecución de las losas. De esta manera, las expectativas del propietario (y el costo de cumplir con esas expectativas) se evalúan demasiado tarde para económicamente corregir la generación de fisuras o para determinar responsabilidades. En consecuencia, es menester establecer que tipo, abertura y longitud de fisuras es aceptable en un piso o pavimento industrial. Este trabajo trata la problemática de la generación de fisuras en pisos industriales, las causas que las generan y en base a un análisis estadístico de 20 años de experiencias de obra se estima la expectativa razonable de aparición de fisuras en los mismos.

PALABRAS CLAVE: pisos industriales, contracción, espaciamiento entre juntas, fisuras, fibras

ABSTRACT

The existence of cracks or microcracks is an inherent characteristic of concrete. Pretending or requiring the total absence of cracks in industrial concrete floors and pavements becomes impractical. The difficulty is that discussions about the differences between acceptable and unacceptable cracks are rarely before the slab execution. In this way, the owner's expectations (and the cost of achieving those expectations) are evaluated too late to correct the generation of cracks in an economical way or to determine responsibilities. Consequently, it is necessary to establish what type, opening and length of cracks is acceptable in an industrial floor or pavement. This work deals with the problem of the generation of cracks in industrial floors, the causes that generate them and based on a statistical analysis of 20 years of work experiences, the reasonable expectation of the appearance of cracks is estimated.

KEYWORDS: industrial floors, shrinkage, joint spacing, cracks, fibres

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC-BY-NC-SA 4.0).

Citar como: Pombo, R., y Zerbino, R. (2021). Sobre la expectativa de fisuras en un piso industrial de hormigón. *Revista Hormigón*, 60, 4–15.

1. Introducción

En la actualidad la logística y condiciones estratégicas en la distribución de mercaderías han intensificado marcadamente el interés en los pisos industriales a nivel mundial. Hoy en día se reconoce que un Hormigón para Pisos Industriales no es cualquier hormigón, ya que el logro de una adecuada performance implica un manejo de la tecnología para alcanzar propiedades en el material que superan el mero logro de una dada resistencia a compresión. Las principales propiedades requeridas para el adecuado comportamiento y la durabilidad de un piso o pavimento industrial en losas de hormigón sobre suelo son: resistencia al desgaste superficial, mínima cantidad de fisuras y/o juntas y mínimo alabeo [1].

Los importantes avances en la tecnología del hormigón de los últimos años permiten optimizar las propiedades requeridas para los pisos industriales según las necesidades del usuario, entre ellos se destacan en particular los avances en Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) y en Hormigón de Retracción Compensada (HRC) [2]. En el primero de ellos la incorporación de fibras incrementa la capacidad de transferencia de cargas y controla la fisuración, de esta manera se pueden diseñar mayores espaciamientos de juntas que en el caso de utilizar hormigones simples o con refuerzo de barras de acero [3]. Por su parte el HRC es un hormigón expansivo, expande en el estado endurecido. Restringido por el refuerzo u otros medios va a tener una expansión inicial igual o ligeramente superior a la retracción por secado prevista. De esta manera se controla la generación de fisuras y se puede aumentar también el espaciamiento entre juntas [4].

El deterioro de las juntas es el problema principal de los pisos de hormigón. Dado que representa el factor de mayor incidencia en la definición de la vida útil del piso, es un desafío tratar de minimizarlas. Sin embargo, al aumentar su espaciamiento para disminuir su cantidad, aumenta el riesgo de aparición de fisuras [5].

Es habitual que el usuario pretenda un piso sin fisuras, pero es bien sabido que su existencia es inherente a las características del hormigón, aunque es posible tratar de que su longitud total sea la mínima posible.

Este trabajo tiene por finalidad discutir la problemática de la generación de fisuras en pisos industriales y, en particular, acerca de cuál es la expectativa razonable de aparición de fisuras en los mismos. Luego de un abordaje teórico y conceptual en la materia, se presenta un análisis estadístico basado en experiencias de obra durante más de 20 años, que comprenden diferentes tipos de hormigón y tecnologías constructivas, considerando como principales elementos de análisis los criterios de cálculo estructural, los espaciamientos entre juntas, las características de las fisuras (espesor y longitud), el alabeo y, en definitiva, la performance y calidad del piso terminado bajo condiciones de servicio.

2. Generación de fisuras en losas de hormigón sobre suelo

El deterioro de las estructuras de hormigón se encuentra directamente asociado a la formación de fisuras, sean originadas por cargas, por exposición al medio ambiente o como consecuencia de las tareas de terminación. En las losas sobre suelo se pueden distinguir fisuras generadas por: fallas estructurales, asentamiento plástico, contracción plástica, contracciones térmicas, por secado y por los procesos de terminación.

Los distintos tipos de fisuras que se observan en las losas de hormigón se pueden ver en el esquema de la Fig. 1. Un breve repaso sobre cada una de ellas se realiza a continuación.

2.1. Fisuras estructurales

En la mayoría de los casos las fisuras estructurales son el resultado del asentamiento de la base y/o de la discontinuidad de su rigidez.

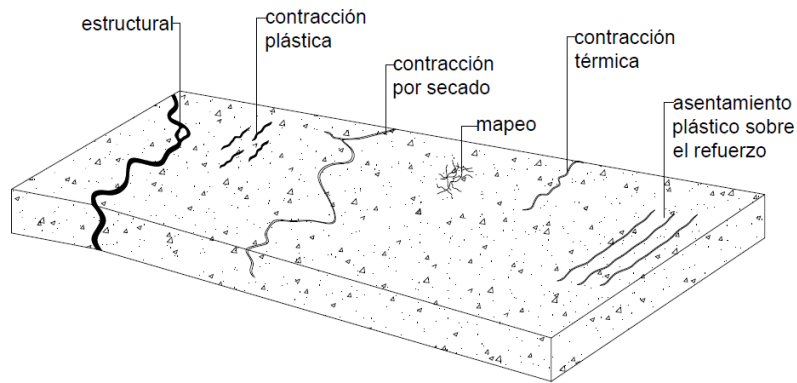


Figura 1. Tipos de fisuras que pueden aparecer en losas sobre el suelo.

Este fenómeno suele ocurrir como consecuencia de un mal diseño o deficiente preparación de la base. Puede ocurrir también que deriven de alguna falla en el diseño de las losas, esto es en el espesor y la resistencia del hormigón para las cargas previstas y la capacidad soporte de la base. En la Fig. 2 se presenta un esquema de la formación y ejemplos de fisuras estructurales registradas en pisos industriales.

2.2. Fisuras por contracción plástica

Las fisuras generadas por contracción plástica representan un caso especial de sedimentación [6]. Se trata de un fenómeno de agua que sube a la superficie del hormigón en estado plástico, causado por la sedimentación de las partículas más pesadas. A este fenómeno se lo denomina exudación. Cuando el agua superficial, como consecuencia de las condiciones ambientales

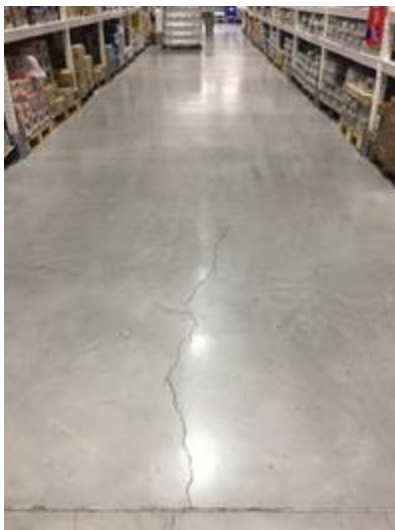
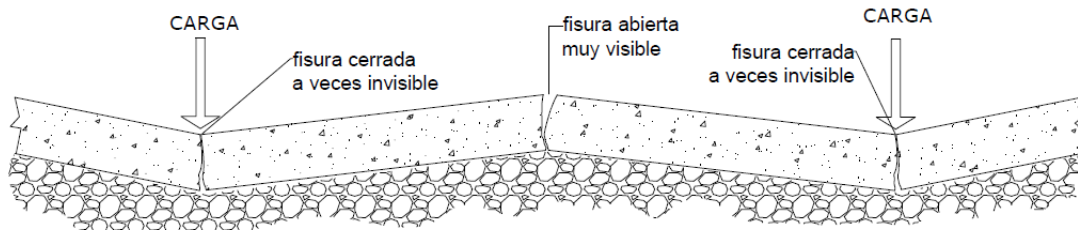


Figura 2. Esquema y ejemplos de fisuras estructurales.

y/o de las características de la formulación, se evapora a una velocidad mayor que la exudación, provoca una rápida contracción de la capa superficial generando tensiones que superan la resistencia a la tracción del hormigón. Estas fisuras son visibles en la superficie cuando el hormigón permanece en estado fresco, esto es aproximadamente entre 10 minutos y 3 horas después de la colocación. Se distribuyen al azar sobre la superficie y en general no tienen demasiada profundidad, aunque, si no se detectan y cierran, pueden propagarse significativamente a causa de otros fenómenos como el secado posterior (ver Fig. 3).

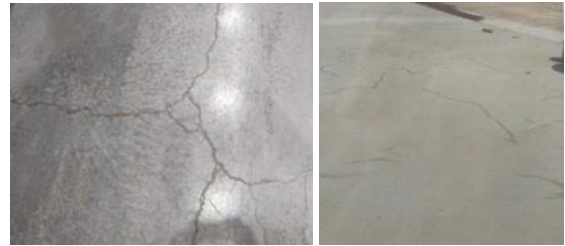


Figura 3. Fisuras por contracción plástica.

2.3. Fisuras por asentamiento plástico

Las fisuras por asentamiento plástico se forman cuando el hormigón se asienta como consecuencia de la sedimentación de las partículas más pesadas (subsistencia). Disminuye el nivel de la superficie alrededor del refuerzo, que opera como restricción al asentamiento. Suele ocurrir cuando el asentamiento medido en el Cono de Abrams es muy elevado, cuando el recubrimiento del refuerzo es insuficiente, o si el diámetro de las armaduras muy grande. La capa de hormigón

por encima del refuerzo resulta muy delgada y se fisura en estado plástico o posteriormente como consecuencia de la contracción por secado. Este fenómeno suele venir acompañado por el hecho de que también se acumula agua debajo del refuerzo que luego, al evaporarse, deja un vacío (Fig. 4).

2.4. Fisuras de contracción por secado

El hormigón disminuye su volumen cuando se expone a un ambiente seco. La magnitud de tal contracción depende de varios factores como las propiedades y contenido de los materiales componentes, el contenido de agua, el tipo y contenido de cemento y de agregados, la temperatura y humedad ambiente, la edad de exposición y las dimensiones de los elementos estructurales.

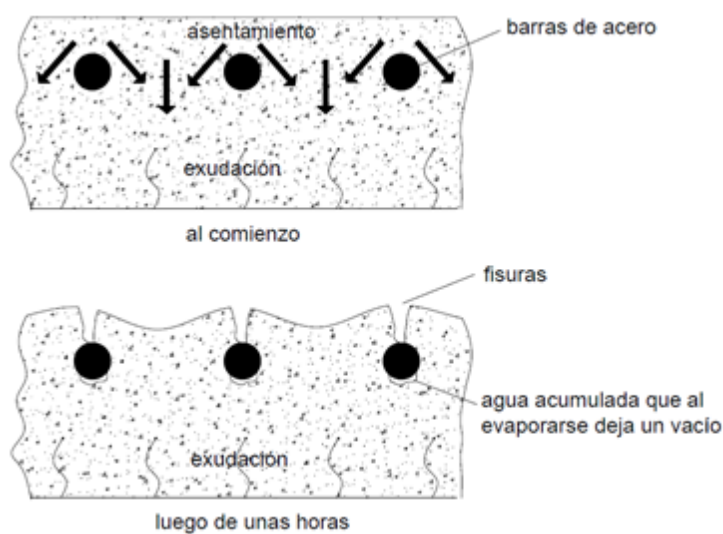


Figura 4. Fisuras por asentamiento plástico. Foto: Fisura en la línea de una barra de refuerzo.



Figura 5. Fisuras de contracción por secado, promovidas por la restricción a la contracción que genera la fricción con el sustrato (izquierda) o por el alabeo de las losas (derecha [4]).

En las losas sobre suelo las fisuras se originan como consecuencia de dos fenómenos: a) la restricción a la contracción que ofrece principalmente la fricción sobre la base o la que ofrece cualquier otro elemento estructural. Por ejemplo, un doble film plástico disminuye a la tercera parte el coeficiente de fricción hormigón/sustrato (suelo-cemento) reduciendo sensiblemente el riesgo de generación de fisuras, y b) el secado diferencial entre la superficie expuesta al medio ambiente y el fondo apoyado sobre la base. Cuando las tensiones de alabeo exceden la resistencia a la tracción del hormigón, la losa se fisura (ver Fig. 5).

2.5. Fisuras por efecto térmico

Cuando las losas ya endurecidas se contraen como consecuencia de algún enfriamiento brusco, por ejemplo durante la noche fría después de un día caluroso, la restricción a esa contracción, causada por el apoyo a una base, puede generar también alguna fisura en el hormigón. En el caso de los pisos son de menor envergadura que las de contracción por secado.

2.6. Mapeo

El exceso de trabajo de las alisadoras pesadas para lograr una superficie lisa y compacta produce un secado superficial que genera microfisuras en la capa superior de la

losa. A este efecto se lo denomina mapeo. Entre otras causas secundarias que favorecen el mapeo aparecen el uso de mezclas ricas en cemento o muy pastosas, el curado deficiente y eventualmente el choque térmico si se vierte agua muy fría sobre una superficie caliente (Fig. 6).



Figura 6. Ejemplo de mapeo en la superficie.

3. Evaluación del tipo de fisuras

La importancia de la existencia de fisuras en las losas sobre suelo generalmente depende de las características de la edificación en cuestión, ya sean instalaciones industriales, edificios públicos, comerciales, viviendas, etc. Las fisuras pueden considerarse fallas si: a) son estructuralmente comprometidas, b) afectan las condiciones de servicio del piso, c) son estéticamente inaceptables, d) hacen que la estructura no sea estanca, e) afectan la durabilidad del piso.

En función de su ancho se pueden establecer las siguientes clases de fisuras:

- Fisuras Leves - ancho < 0,3 mm
- Fisuras Medias: 0,3 mm < ancho < 0,8 mm
- Fisuras Severas: 0,8 mm < ancho < 1,5 mm
- Fisuras Inaceptables: ancho > 1,5 mm

La determinación de la característica de una fisura debe realizarse no antes de 1 año después de la ejecución del piso. Una inspección inicial a los 3 meses seguida de otras sucesivas, permite evaluar su evolución en el tiempo (Fig. 7). La presencia de cualquier fisura puede evaluarse según las clases mencionadas anteriormente. Esta evaluación determina la necesidad de reparación, especialmente en relación con el uso específico previsto del piso. De esta manera se pueden considerar dos casos [7]:

- Fisuras no estructurales que puedan requerir una reparación.
- Fisuras inactivas que es poco probable que se abran, cierren o se extiendan más.

El comportamiento en servicio de una fisura debe evaluarse con los mismos criterios que el de una junta de contracción, con la misma relación con la apertura y el movimiento.



Figura 7. Evaluación del ancho de una fisura. La tarjeta con anchos graduados es la manera más usual de hacer la evaluación.

Las fisuras leves, con un ancho inferior a 0,3 mm, resisten el tráfico sin desgaste. Es mejor dejarlas sin tratamiento ya que pueden considerarse aceptables porque no afectan la funcionalidad del piso.

Las fisuras medias y severas (0,3 mm < ancho de la fisura < 1,5 mm) se consideran aceptables cuando se forman dentro del primer año de vida útil del piso; hasta un ancho menor a 0,8 mm es mejor dejarlas sin tratamiento a menos que los bordes de la grieta empiecen a despostillarse; en tal caso, se sugiere una intervención de restauración local.

Las fisuras inaceptables, de más de 1,5 mm de ancho, ofrecen una transferencia de carga limitada o nula entre las caras de las grietas. También permiten la penetración de líquidos a través de la losa. Por ello deben ser sometidas a una reparación antes de la puesta en servicio del piso. Las fisuras generadas entre el final del corte de la sierra y el borde de la losa no pueden ser consideradas un defecto.

4. Expectativas sobre la cantidad de fisuras

Como es absolutamente normal observar algunas fisuras en las losas, resulta de importancia determinar que cantidad en número y/o longitud es aceptable para considerar que su existencia no significa mala calidad de ejecución y no afecta el comportamiento en servicio del piso.

Desde el punto de vista de la funcionalidad del piso, como fuera expresado en el apartado anterior, las fisuras con un ancho menor de 0,3 mm pueden considerarse aceptables independientemente de su cantidad y longitud. Desde el punto de vista estético, que generalmente depende de la distancia de visualización crítica y en consideraciones personales, que a menudo tienen en cuenta criterios arbitrarios, habitualmente queda implícito que los anchos de fisura de hasta 0,3 mm son estéticamente aceptables.

Existen diversos criterios para evaluar la cantidad aceptable de fisuras de un ancho mayor a 0,3 mm. Por ejemplo, tanto el ACI [1] como la PCA [8] establecen que es razonable esperar que se produzcan fisuras visibles aleatorias en hasta el 3 % de las de losas de piso formadas por aserrado, por juntas de construcción o por una combinación de ambos. En este caso, si se analiza lo que podría ocurrir en un piso de 50 m x 50 m, vale decir de una superficie de 2.500 m², ejecutado con dos tecnologías distintas variando el espaciamiento entrejuntas: a) en paños de 5 m x 5 m y b) en paños de 25 m x 25 m, podría ocurrir lo indicado en la Tabla 1. Esto significa que en el Caso (a) tendríamos un número aceptable de paños con fisuras y un número no aceptable en el Caso (b). Pero, para el mismo número de fisuras por paño, tendríamos una longitud total de fisuras mayor en el Caso (a) que en el Caso (b).

Otro documento en la materia, el CNR-

DT211-2014 italiano [9], establece que se considera aceptable la presencia de aproximadamente 10 m de fisuras con un ancho mayor a 0,3 mm cada 1000 m² de piso (equivalente a 1 cm / m² de fisura permisible), evaluado dentro del primer año de construcción. Al analizar de esta manera los casos (a) y (b) anteriores, podría ocurrir lo indicado en la Tabla 2. Esto significa que para la misma longitud total aceptable de fisuras en toda la superficie del piso aparece en el Caso (a) un porcentaje mayor de losas fisuradas que en el Caso (b).

Ninguna de las dos propuestas cuantifica claramente la expectativa de fisuras en la ejecución de losas sobre suelo. Se trata, entonces, de establecer algún criterio para acotar, dentro de valores razonables, su cantidad tanto en el número de losas fisuradas como en la longitud de losas por metro cuadrado, que arroje resultados consistentes de ambas mediciones.

Tabla 1. Expectativa de fisuras en un piso ejecutado con distintas tecnologías, según ACI y PCA [1,8].

Caso	(a)	(b)
Espaciamiento entre juntas	5 m	25 m
Número total de paños	100	4
Número de paños con fisuras	3	1
Porcentaje de losas con fisuras	3	25
Número de fisuras/paño	4	4
Longitud de cada fisura	5 m	5 m
Longitud total de fisuras	60 m	20 m

Tabla 2. Expectativa de fisuras en un piso ejecutado con distintas tecnologías, según CNR-DT211-2014 [9].

Caso	(a)	(b)
Espaciamiento entre juntas	5 m	25 m
Número total de paños	100	4
Longitud total aceptable de fisuras	25 m	25 m
Longitud de cada fisura	0,5 m	25 m
Número de fisuras/paño	1	1
Número de paños con fisuras	50	1
Porcentaje de losas con fisuras	50	25

5. Estudio de antecedentes y experiencia en obra

Con la finalidad de abordar el tema de la expectativa razonable de fisuras en pisos industriales se realizó un estudio en base a la experiencia de expertos que durante muchos años trabajaron en la construcción de pisos. Los resultados de esta encuesta se vuelcan en la Tabla 3. Se plantearon varios casos típicos que consideraban diferentes espaciamientos de juntas y tamaños de pisos, que daban lugar a grandes diferencias en la cantidad de losas. Se pedía a los expertos que seleccionaran en base a su criterio cuál

sería la respuesta más adecuada referida al número razonable de fisuras. Como era de esperar, el porcentaje de losas con fisuras crece a medida que aumenta el espaciamiento entre juntas [5]. Un aspecto importante que surge de estas respuestas es que el crecimiento es consistente para diferentes tamaños de pisos. Esta característica se aprecia en la Fig. 8, donde se representa el porcentaje de losas con fisuras en función del espaciamiento entre juntas para distintos tamaños de pisos. El porcentaje de losas con fisuras (P) se puede expresar como (1):

Tabla 3. Encuesta a especialistas en base a la expectativa razonable de fisuras en pisos industriales.

Opciones propuestas				Respuestas		
Espaciamiento entre juntas (m)	Superficie total del piso (m ²)	Nº total de losas	Nº sugerido de losas con fisuras	(%)	Resultado ponderado del Nº de losas con fisuras	% de losas con fisuras
5	10.000	400	5	60	7,8	1,95
			12	40		
			20	0		
15	10.000	44	1	40	2,8	6,3
			4	60		
			7	0		
30	10.000	11	0	20	1,6	14,4
			2	80		
			4	0		
5	15.000	600	10	80	11,4	1,9
			17	20		
			22	0		
15	15.000	67	4	80	4,6	6,9
			7	20		
			10	0		
30	15.000	17	1	40	2,2	13,2
			3	60		
			5	0		
5	90.000	3600	50	80	60,0	1,7
			100	20		
			150	0		
15	90.000	400	25	80	27,0	6,8
			35	20		
			50	0		
30	90.000	100	10	80	11,0	11,0
			15	20		
			20	0		

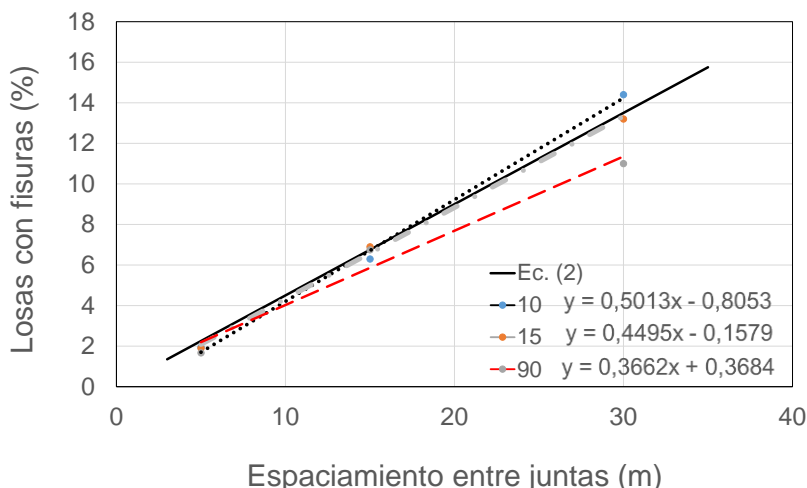


Figura 8. Porcentaje de losas con fisuras en función el espaciamiento entre juntas, estimada para pisos con superficie total de 10, 15 y 90 mil metros cuadrados.

$$P (\%) = F \cdot 100 / (S/L^2) \quad (1)$$

donde F es el número de losas con fisuras, S la superficie total del piso (en m²) y L el espaciamiento entre juntas (en m). Adoptando como pendiente promedio 0,45 resulta de la estimación (2):

$$P (\%) = 0,45L \quad (2)$$

La línea continua de la Fig. 8 muestra la tendencia general estimada. En consecuencia (3):

$$F = 0,0045 S/L \quad (3)$$

En base a este estudio, y considerando los antecedentes de otros países, se proponen dos pautas a cumplir en forma simultánea:

- El número de fisuras debe ser menor o igual al indicado en la ecuación 3 ($F \leq 0,0045 S/L$)
- La longitud total de las fisuras debe ser menor o igual a 10 m de fisuras con un ancho mayor a 0,3 mm cada 1000 m² de piso (equivalente a 1 cm / m² de fisura permisible), tal evaluación debe ser realizada dentro del primer año de construcción.

6. Control de la formación de fisuras

El hecho que se haya explicado que encontrar fisuras en un piso industrial no es algo atípico no significa ni se contrapone con la necesidad de hacer los máximos esfuerzos para

minimizar su aparición. Control de contracción, diseño de juntas, posición de los refuerzos y operaciones de terminación de la superficie del piso, representan aspectos críticos. Para tal fin es necesario atender y trabajar en todo lo que implica optimizar las propiedades del hormigón, particularmente seleccionando los materiales componentes más adecuados dentro de los disponibles en cada región, ajustar las proporciones de las mezclas y el uso correcto de los aditivos químicos para básicamente minimizar la contracción por secado, adoptar las técnicas constructivas más adecuadas y acordes al diseño, ocuparse de asegurar el correcto posicionamiento de los refuerzos, controlar el proceso de acabado cuidando no excederse en el trabajo de las alisadoras, entre otras tantas cuestiones que fueron comentadas en este trabajo.

Para tales objetivos existen diferentes soluciones tecnológicas a considerar tanto en forma individual como combinadas, las cuales se comentan a continuación.

6.1. Juntas de contracción

La solución clásica para remediar el problema de la contracción por secado es limitar las dimensiones de las losas mediante la ejecución por aserrado de juntas de contracción, con el objeto de inducir la

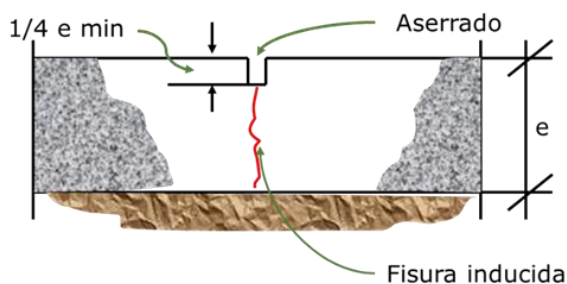


Figura 9. Juntas de contracción.

formación de fisuras en lugares preestablecidos (ver Fig. 9).

El máximo espaciamiento admisible entre juntas se relaciona directamente con la contracción potencial del hormigón y cuanto mayor sea ésta, menor debe ser el espaciamiento. En hormigón simple, según la Portland Cement Association [8], los máximos espaciamientos entre juntas recomendados para reducir el riesgo de generación de fisuras varían en función del tamaño máximo de agregado y se basan en resultados estadísticos. El espaciamiento típico entre juntas en este caso es de 4,5 a 5 m.

6.2. Refuerzos

Una solución para controlar la generación de fisuras es la colocación de un refuerzo de barras de acero (ver Fig. 10). Este refuerzo no evita la aparición de fisuras, pero controla su apertura. Las barras permanecen inactivas hasta que ocurre la fisura, en ese momento

comienzan a tomar tensión. Sin embargo, en cantidad apropiada y adecuada ubicación, pueden mantener cerradas las fisuras. Cuando el contenido de refuerzo es igual o menor al 0,1 %, el espaciamiento entre juntas debe ser el mismo que para una losa sin refuerzo. La experiencia señala que para aumentar el espaciamiento entre juntas por encima de los 5 m es necesario un significativo incremento del refuerzo de barras de acero por encima del 0,25 %. A modo de ejemplo, una malla Ø6 c/15 cm en ambos sentidos en una losa de 0,15 m de espesor significa un refuerzo de 0,12 %; una malla Ø8 c/15 cm en ambos sentidos en una losa de 0,15 m de espesor implica un refuerzo de 0,22 %.

6.3. Hormigón Reforzado con Fibras

Otra solución posible para controlar los efectos adversos de la contracción es incorporar fibras al hormigón (HRF) [2,3]. Las

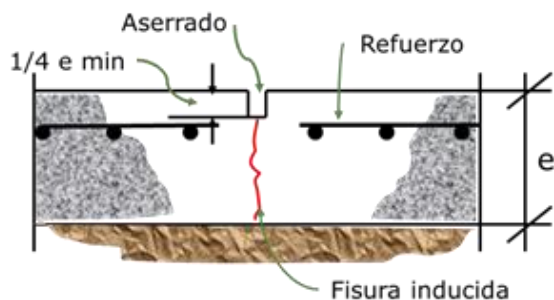


Figura 10. Losas con refuerzo de barras de acero.

fibras aumentan la capacidad residual luego de que aparece una fisura o microfisura y son capaces de realizar tres funciones fundamentales: favorecer la fisuración múltiple, transmitir esfuerzos a través de las fisuras (esto implica que, aunque se desarrolle la contracción, el compuesto mantiene su capacidad residual en estado fisurado) y brindar condiciones para el desarrollo de procesos de autollenado o autosanado de aquellas. Las fibras retardan la formación de la primera fisura y, si bien no reducen la contracción total, pueden aumentar la cantidad y reducir el ancho medio de las fisuras que se forman.

La experiencia en obra verifica que con el uso de HRF se logran mayores espaciamientos entre juntas que con refuerzo de barras de acero, pero el espaciamiento depende sensiblemente del tipo de fibras. Con fibras de acero se logran espaciamientos de 30 m para dosis de fibras entre 30 y 40 kg/m³, con fibras de polipropileno los espaciamientos oscilan entre 10 y 15 m para las dosis habituales que oscilan entre 3 y 5 kg/m³.

Las fibras también modifican las propiedades en estado fresco del hormigón, su cohesión, la velocidad de exudación y el asentamiento plástico, y en elementos de gran superficie como las losas sobre el suelo, todo esto incide no solo en la contracción lineal sino en otras cuestiones como la tendencia al alabeo. Las fibras favorecen una mayor retención de agua cerca de la superficie y se estabiliza el movimiento de las partículas sólidas resultando una mezcla más homogénea [10].

6.4. Hormigones de retracción compensada

El Hormigón de Retracción Compensada (HRC) es un hormigón expansivo que, debidamente restringido por la armadura u otros medios, durante el periodo de curado húmedo genera una expansión inicial igual o ligeramente superior a la retracción por secado prevista. Debido a la restricción, durante la etapa de expansión el HRC experimentará cierta compresión, la que luego se irá aliviando durante la etapa de retracción. Una vez expuesto al aire se produce una

retracción menor que la que hubiera tenido el hormigón sin expansor. El resultado esperado es que, en el estado final de equilibrio, el HCR permanezca con tensión nula o con una ligera tensión de compresión residual, minimizando el riesgo de fisuración. Para elaborar HRC se incorporan aditivos expansores a la mezcla o se utilizan cementos expansores que ya los incluyen. Con esta tecnología se logran espaciamientos entre juntas de 30 a 40 m [4].

La incorporación de aditivo expansor al HRF, ya sea fibras de acero o macrofibras sintéticas, es otra solución posible para controlar los efectos adversos de la contracción, dando así lugar a un Hormigón de Retracción Compensada Reforzado con Fibras. La retracción es compensada por la expansión y sus efectos controlados por las fibras. Se logran también losas de grandes dimensiones (típicamente de 30 m x 30 m) y las juntas tienen muy poca abertura.

7. Conclusiones

Este trabajo ha desarrollado la problemática de la formación de fisuras en pisos industriales. Luego de una descripción de los tipos de fisuras y sus causas, se precisan las diferencias entre fisuras aceptables y no aceptables y los criterios para su definición en diferentes reglamentos y recomendaciones. La experiencia indica que según el criterio aplicado pueden aparecer resultados contradictorios para un mismo caso.

Las limitaciones anteriores deben considerarse como indicación general, ya que dependen de la expectativa del titular de la obra. Expresan un nivel considerado aceptable en un piso construido con cuidado y atención. Sin embargo, una mayor densidad de fisuras, incluso cuando se concentre en áreas limitadas del piso, debe ser objeto de una evaluación específica de las causas y puede requerir los consiguientes arreglos o, en el peor de los casos, demolición y reconstrucción del área degradada.

En base a un análisis de 20 años de experiencias de obra se propone que la expectativa razonable de aparición de fisuras

en pisos industriales dentro del primer año de construido debe cumplir con dos pautas simultáneas:

- El número de fisuras debe ser menor o igual a $0,0045 S/L$, donde S es la superficie total del piso (en m^2) y L el espaciamiento entre juntas (en m).
- La longitud total de las fisuras con un ancho mayor a 0,3 mm debe ser menor o igual a 10 m de fisuras cada $1000 m^2$ de piso.

Se destaca la consistencia entre las respuestas de diferentes especialistas y que, como es indicado en la bibliografía, el porcentaje de losas con fisuras crece en función del espaciamiento entre juntas.

Como corolario, si bien es imposible en términos prácticos asegurar que no haya fisuras eso no implica dejar de hacer esfuerzos para minimizarlas trabajando sobre las propiedades del material, principalmente las que inciden sobre la contracción por secado, adoptando el diseño apropiado para el proyecto en cuestión, entre otras cuestiones. En este trabajo se mencionan las principales soluciones tecnológicas para atender el problema: el correcto diseño de juntas, el empleo de refuerzos, de HRF y/o de HRC.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Ing. Marcelo Altamirano, el Ing. Marcelo Morales, el Ing. Tomás Duarte y el Ing. Pablo Puig.

Referencias

- [1] American Concrete Institute. (2015). *ACI 302.1R-15-Chapter 4 Guide to Concrete Floor and Slab Construction*.
- [2] Altamirano, M. G., Pombo, R., Giaccio, G., y Zerbino, R. (2017). Hormigones reforzados con macrofibras sintéticas para la ejecución de pisos y pavimentos industriales. *Revista Hormigón*, 57, 15–27.
- [3] Zerbino, R. (2020). *Hormigón reforzado con fibras* (1ra ed.). Ed. AATH, Serie Hormigones Especiales.
- [4] Fernández Luco, L., Pombo, R., y Torrent, R. (2003). Shrinkage Compensating Concrete in Argentina. *Concr. Inter.*, Mayo 2003, 97–101.
- [5] Concrete Society UK. (2016). *TR 34 (5) Concrete Industrial Ground Floors* (Fourth Edition).
- [6] Powers, T. C., y Dahl, L. A. (1939). The bleeding of Portland cement paste, mortar and concrete, treated as a special case of sedimentation. *Research Laboratory of the Portland Cement Association. Bulletin 2*.
- [7] Concrete Society UK. (1992). *TR-22. Non-structural Cracks in Concrete* (Third Edition).
- [8] Tarr, S. M., y Farny, J. A. (2008). *Concrete Floors on Ground* (Fourth Edition). Ed. Portland Cement Association.
- [9] Consiglio Nazionale delle Ricerche. (2016). *CNR-DT211-2014 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo*.
- [10] Labib, W., y Eden, N. (2004). An investigation into the use of fibres in concrete industrial ground-floor slabs. *En 3rd Int. Built a. Human Env. Res. Week* (pp. 466–477). Liverpool John Moores University, Rotterdam, Netherlands.