

Ing. Edgardo Becker
Líder de Asesoría Técnica
LOMA NEGRA C.I.A.S.A.

Las losas de pisos industriales generalmente se diseñan calculando su espesor en base a un cuidadoso análisis de tensiones y consumos de fatiga del material (en general hormigón) considerando las cargas actuantes (intensidad, geometría y frecuencia), MR (módulo de rotura) a flexión del hormigón y valor soporte de la base. Sin embargo, en forma similar a lo que ocurre con otros elementos estructurales, resulta necesario considerar las deformaciones y tensiones generadas a partir de otros esfuerzos que se generan debido a efectos térmicos e hídricos, además de ciertas restricciones y puntos singulares de la estructura.

Algunas veces se han observado que losas de piso que, a pesar que la verificación de espesor por criterio resistente verifican razonablemente, presentan importantes deformaciones en las esquinas, dando lugar a problemas de nivel y hasta fisuras de esquina. En la figura N°1 se muestra esquemáticamente la deformación típica (alabeo) que presentan las losas debido a diferencias de humedad entre la superficie de apoyo y la cara superior que suele tener una menor humedad. Algo similar puede ocurrir por efectos térmicos, sobre todo a cortas edades, aunque la deformación podría tender a ser contraria cuando la superficie del hormigón se encuentra a una alta temperatura por efecto de la radiación solar.

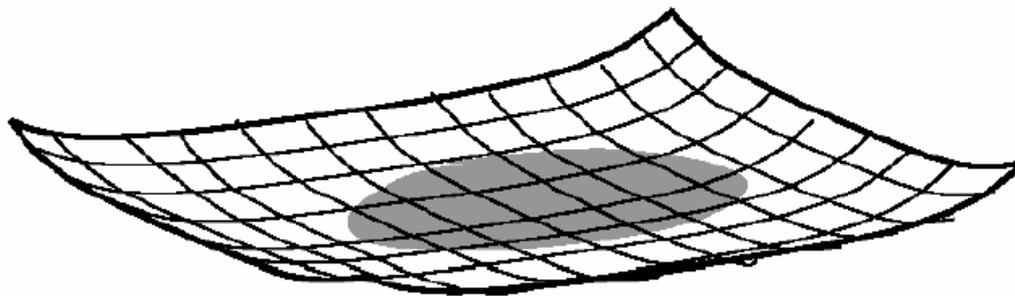


Figura N°1: Alabeo típico (fuera de escala) de una losa de hormigón apoyada sobre una base.
Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminario Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

Por estas razones, se recomienda utilizar espesores de losas que, más allá de verificar el cálculo estructural considerando las cargas y fatiga del material, debe realizarse un diseño de juntas que resulte compatible con el espesor determinado, de manera de acotar las deformaciones por alabeo que, en el caso de los pisos industriales, pueden ser muy importantes debido a exigencias de lisura superficial más allá de la posible influencia sobre la fisuración de esquina.

Como dato informativo, en la tabla 1 se indican las distancias de separación de losas recomendadas por la PCA para pisos en función del espesor y las características de la mezcla de hormigón utilizada.

Espesor de la losa [cm]	Máxima separación recomendada entre juntas [m]		
	Hormigón con asentamiento entre 10 y 15 cm		Hormigón con As < 10 cm
	Agregado Grueso $T_{\text{máx}} \leq 19 \text{ mm}$	Agregado Grueso $T_{\text{máx}} > 19 \text{ mm}$	
12,5	3,00	4,00	4,50
15,0	3,60	4,50	5,50
17,5	4,30	5,50	6,40
20,0	4,90	6,00	7,30
22,5	5,50	7,00	8,20
25,0	6,00	7,30	9,10

Tabla 1: Separaciones máximas recomendadas por la PCA (Portland Cement Association) para losas de piso en función del espesor del pavimento y las características de la mezcla de hormigón utilizada.

Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminario Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

En la figura N°2 se muestran datos concretos de deformaciones medidas sobre una losa de 7,30 m de lado y 15 cm de espesor que presentó una diferencia de temperatura de 16,7°C entre la cara superior y la de apoyo. Evidentemente la deformación medida en las esquinas resulta totalmente incompatible con la mayor parte de las aplicaciones conocidas en pisos industriales.

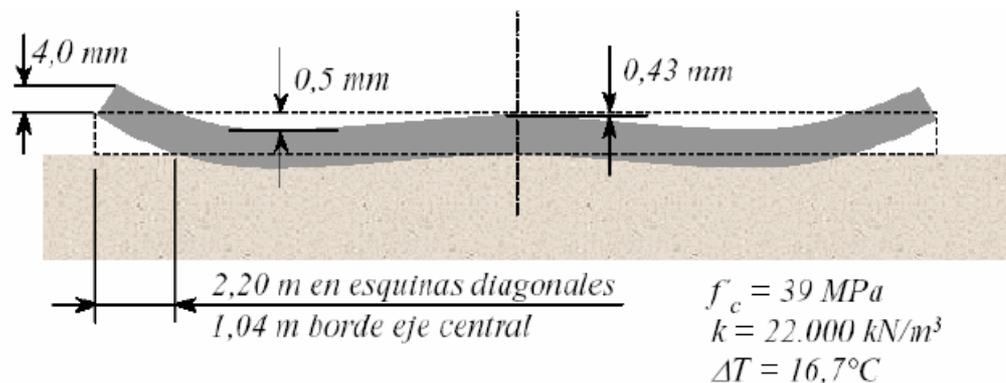


Figura N°2: Alabeo típico (fuera de escala) de una losa de hormigón de 15 cm de espesor apoyada sobre una base.

Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminario Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

En la figura N°3 se muestra gráficamente las isobaras de tensión generadas en la losa mencionada, encontrándose picos de tensión de 2,92 MPa a 2,20 m. En el caso de tener grandes restricciones a estos movimientos de alabeo o cuando pasa una carga sobre las esquinas resulta altamente probable la formación de las típicas fisuras a 45° en las esquinas.

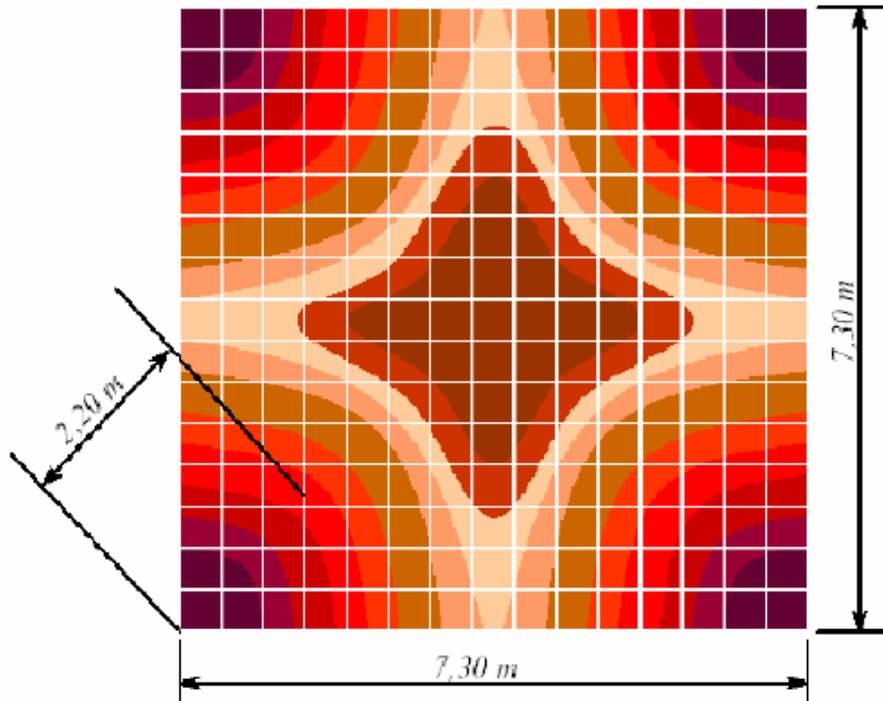


Figura N°3: Estado de tensiones de una losa de hormigón de 15 cm de espesor apoyada sobre una base.

Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminaro Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

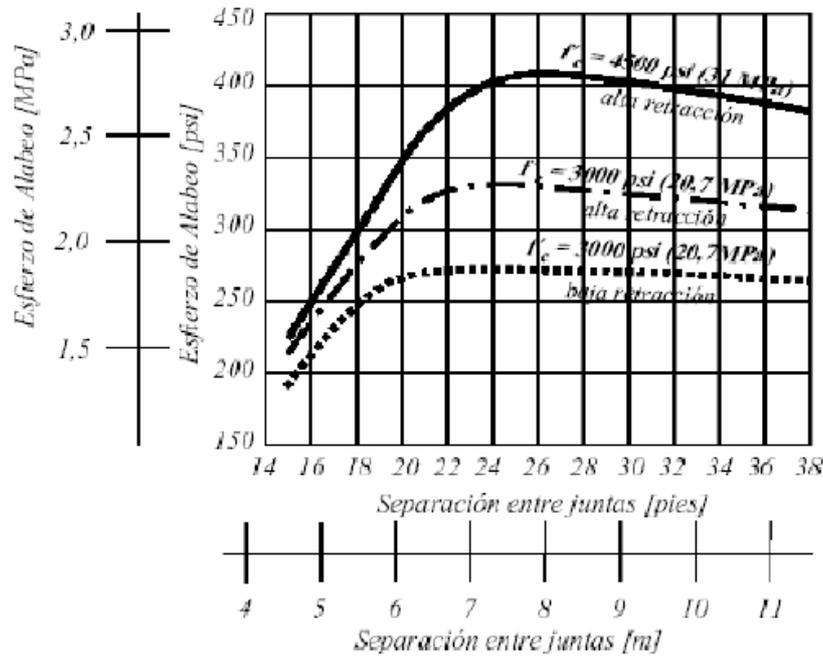


Figura N°4: Esfuerzo de alabeo generado en una losa de hormigón de 15 cm de espesor apoyada sobre una base con distintos niveles de resistencia y retracción del hormigón.
Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminaro Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

Evidentemente la tendencia al alabeo de las losas de hormigón, no sólo depende de su geometría sino también de las características del hormigón, resultando muy importante su módulo de elasticidad y su contracción. En la figura N°4 se observa que aquellos hormigones de mayor contracción presentan menores esfuerzos de alabeo.

En la figura N° 5 puede observarse que existe una relación entre el espesor de losa con su velocidad de secado, donde las losas de menor espesor tienden a perder rápidamente una mayor proporción de humedad y consecuentemente presentan mayor retracción y alabeo.

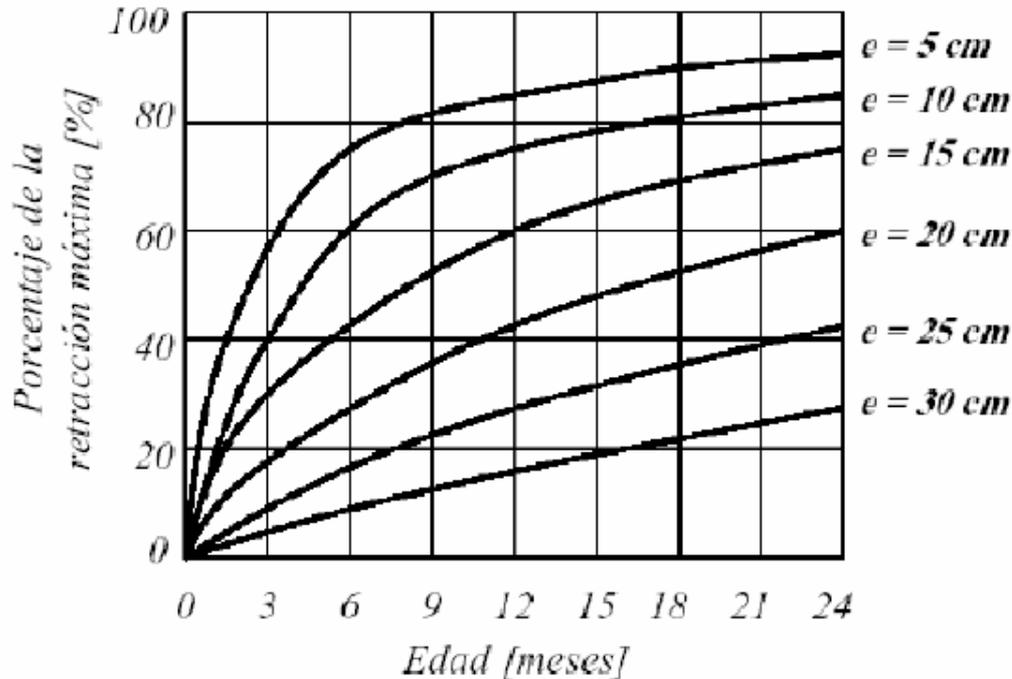


Figura Nº5: Velocidad de retracción de losas de hormigón de diferentes espesores.

Fuente: J. Holland & otros, 2001. "Seminario Internacional sobre Nuevas Tecnologías para Pisos Industriales". Park Hyatt Hotel, 24 y 25 de abril de 2001.

En resumen, puede afirmarse que todas las losas de piso tienden a alabearse. El desafío de los proyectistas y constructores es limitar estas deformaciones a valores compatibles con el proyecto. A modo de recomendaciones generales, a continuación se indican algunos puntos a considerar para minimizar el alabeo:

- Diseñar espesores adecuados a fin de soportar las cargas actuantes. En general para pisos del tipo industrial se utilizan típicamente espesores entre 15 y 30 cm.
- Diseñar losas de geometría tendiendo a cuadrada con los siguientes límites: $1,0 < \text{largo}/\text{ancho} < 1,5$.
- Utilizar separaciones entre juntas siguiendo las recomendaciones de la tabla de la PCA (ver Tabla 1).
- Especificar hormigones clase $f'c > 25$ MPa, asentamiento < 10 cm y $a/c < 0,50$ utilizando aditivos plastificantes de manera de minimizar el CUC. En general, se recomienda usar $CUC < 350$ kg/m³ salvo que por cuestiones inherentes a la durabilidad del pavimento se deba especificar mayor cantidad de cemento.
- Compactar y terminar adecuadamente al hormigón evitando el exceso de vibrado y trabajo superficial que tiende a generar segregación de los sólidos y gruesos aumentando la tendencia al alabeo.
- Realizar un curado adecuado de las losas. En ocasiones, y siempre que resulte posible, se recomienda el curado por inundación durante 7 días, en caso contrario la utilizaciones de compuestos químicos capaces de formar membrana de curado de buena calidad resultan adecuadas.

Las distancias de separación entre juntas pueden incrementarse cuando se utilizan hormigones de retracción compensada o de baja retracción o adecuadamente armados o postesados o se han previsto otras soluciones para minimizar el normal alabeo de las losas.