

La mezcla de hormigón: un reto constante

Buena mezcladora, buen hormigón: el primer paso hacia el éxito

Desde hace décadas el hormigón es objeto de investigación y desarrollo en numerosas escuelas técnicas y universidades de todo el mundo, y así será seguramente durante mucho tiempo. Regularmente se presentan nuevos hormigones mejorados en congresos y jornadas especializadas. Asimismo regularmente se oye a los ponentes que un determinado hormigón ha sido difícil de mezclar, que ha tenido que mezclarse durante más tiempo. Algunos incluso

hablan de una mayor energía necesaria para el mezclado pero sin reflejarlo en cifras. El hecho es que, actualmente, incluso los hormigones de gran calidad se mezclan por intuición, faltan datos objetivos para realizar el mezclado necesario. Mezclar significa aplicar energía a un sistema. Este artículo pretende explicar el mezclado como un proceso energético de cálculo racional. Se presentarán los sistemas de mezclado que se encuentran en el mercado.

Por el Dr. Peter Nold y el Ing. Ralf Löbe, de Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardheim, Alemania

Mezclado de hormigón

El hormigón actual es un material de construcción masivo y al mismo tiempo un material de construcción de alto rendimiento, escribe el profesor, Doctor en Ingeniería, Bernd Hillemeier [1]. “Hasta ahora el hormigón estaba considerado como un sencillo sistema de tres materiales compuesto por cemento, agua y áridos. En nuestros días está viviendo un proceso de innovación. El hormigón de alta tecnología se considera como un sistema de 6 componentes, consistente en cemento, áridos, agua, aditivos, adiciones y aire” [1].

Las propiedades del cemento, los áridos, el agua de mezclado, los aditivos y las adiciones están descritas en las normas para los usuarios. Pero no existen indicaciones o normas para llevar a cabo el proceso según el cual se combinan estos materiales: el mezclado de hormigón.

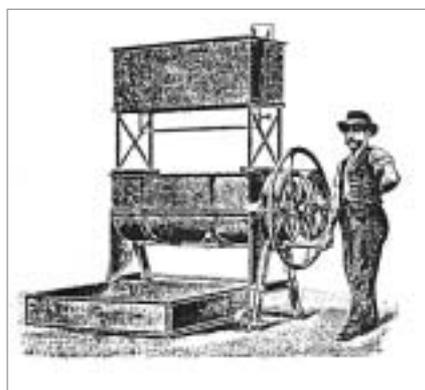


Fig. 2: Máquina mezcladora de cuba con servicio manual, marca Tietze, hacia 1870 [13]

Para ello, las normas y los fabricantes de cemento confían en la intuición del usuario. A las mezcladoras, la norma DIN EN 206-1 sólo les exige uniformidad: “9.6.2.3 Mezcladoras: las mezcladoras, con su capacidad, durante el tiempo de mezclado deben conseguir una distribución homogénea de las materias primas y una trabajabilidad uniforme del hormigón” [2]. El mismo proceso de mezclado es completamente improbable y subjetivo: “9.8 Mezclado del hormigón: el mezclado de las materias primas se tiene que realizar en una mezcladora conforme a 9.6.2.3 y se debe prolongar hasta que la mezcla presente un

estado uniforme” [2]. Pero la norma no ofrece una definición de la uniformidad.

Las indicaciones de los fabricantes de cemento van por el mismo camino. “El mezclado de las materias primas se debe realizar en una mezcladora mecánica y se debe prolongar hasta que la mezcla presente un aspecto uniforme. Este espacio de tiempo es la duración del mezclado. Por experiencia, en los hormigones normales suele durar, al menos, 30 segundos y en los hormigones ligeros, al menos 90 segundos. A la hora de fabricar hormigones con requisitos especiales, por ejemplo hormigones autocompactantes, hormigón visto o si se emplean agentes generadores de aire, el tiempo de mezclado puede ser mayor” [3].

¿Qué quiere decir un tiempo de mezclado “mayor”? ¿Y qué ocurre cuando el proceso de mezclado es demasiado corto o demasiado largo? Cuando un ama de casa prepara nata montada sabe cuándo debe parar el “mezclado”. ¿Quién lo sabe cuando se trata del hormigón? El ama de casa también sabe que tiene que mezclar la nata a una determinada velocidad mínima. ¿Hoy día quién conoce algo sobre la velocidad mínima del mezclado de hormigón? ▶

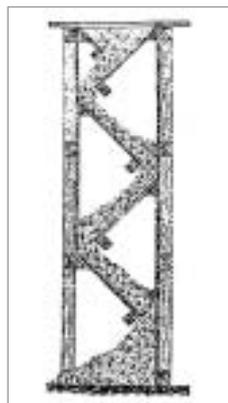


Fig. 1 Mezcladora de caída libre de tablas de madera, en torno al año 1860 [13]

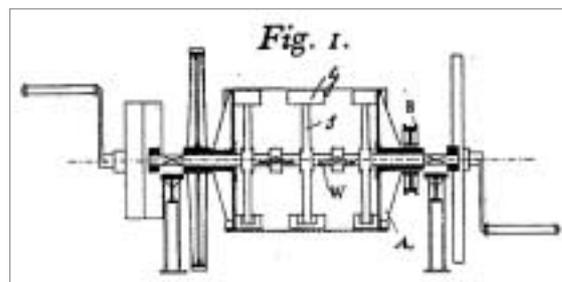


Fig. 3: Mezcladora de cuba, registro de patente nº 71321, Oficina Imperial de Patentes, Alemania, 1893

Ahora volvemos a ser conscientes de que al hormigón le influye el proceso de mezclado. Chiara F. Ferraris, del National Institute of Standards and Technology, EE.UU., escribe en el artículo "Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art" (Métodos de mezclado y mezcladoras para el hormigón: el estado del arte) [4]: "Como en todos los materiales, en el hormigón la calidad ("performance") también está determinada por la microestructura. Ésta depende de la composición, de las condiciones del curado, pero también del método de mezclado y de las condiciones de mezclado al fabricar el hormigón".

(As for all materials, the performance of concrete is determined by its microstructure. Its microstructure is determined by its composition, its curing conditions, and also by the mixing method and mixer conditions used to process the concrete.)

Lo que sabían nuestros padres

Lo que para el lector pueda parecer un nuevo problema no tiene nada de nuevo. Ya en 1967 se escribió que "las propiedades del hormigón no sólo están determinadas por los factores de conocimiento general, como el contenido de cemento, la composición granulométrica y la resistencia propia de los áridos y su forma, el método de compactación y el acabado, la relación agua / cemento, etc., sino también por el modo de llevar a cabo el proceso de mezclado, o la intensidad del mezclado" [5]. Se citan estudios que han dado como resultado que la prolongación del tiempo de



Fig. 4: Máquina mezcladora de hormigón patentada por Kunz, 1910 [16]

mezclado eleva la resistencia del hormigón [6].

Los efectos de una "elaboración intensa del hormigón", a ser posible con una técnica de mezclado especial, se describieron de esta manera: "Mejora de la evolución de la resistencia, reducción del consumo de cemento, empleo de un tipo de cemento más económico, mejora de la trabajabilidad, reducción de la dispersión de la resistencia y de la segregación de agua" [5]. Se presentaron hormigones mezclados de forma "normal" con un consumo de 1,0 kW/h por metro cúbico de hormigón endurecido, frente a hormigones mezclados de forma "intensiva" con un consumo de 2,5 kW/h por metro cúbico de hormigón endurecido; en aquel entonces, los costes superiores para la energía eléctrica eran más de 10 veces el ahorro de cemento.

En 1973 se realizaron estudios con la entonces nueva técnica de mezclado de Eirich, con una mezcladora de alto rendimiento con un recipiente de mezclado inclinado [7]. La energía de mezclado, aplicada durante 60 segundos a una mezcla de 200 kg de cemento, fue de 3 kW/h por metro cúbico de hormigón compactado. En comparación con una

mezcladora que en el mismo tiempo utilizó 0,75 kW/h por metro cúbico en una mezcla de 300 kg de cemento, en el mezclado con mayor potencia se registró un aumento de la resistencia de más del 20 %, a pesar de haber 100 kg menos de cemento [7].

Los fabricantes de cemento no votaron en contra en los gremios, en donde se crea opinión, a la hora de establecer sin excepción una cantidad mínima de cemento en las normas para los hormigones de la construcción. Debido a las indicaciones de la norma, la industria elaboradora de cemento no pudo aprovechar las ventajas de la técnica de mezclado de alto rendimiento. Como consecuencia Eirich se retiró del



Fig. 6: Mezcladora con forma de embudo, hacia 1908 [19]

mercado del hormigón masivo y se ha concentrado en los hormigones finos, como hormigón para tejas, hormigón para la capa exterior y otros similares.

A lo largo de la década se perdió el conocimiento sobre la energía de mezclado de los hormigones. Es evidente que los cementos también han cambiado, y los conocimientos de 1973 sobre el mezclado de alto rendimiento no se pueden trasladar simplemente a los hormigones actuales. Actualmente casi todos los fabricantes de mezcladoras llaman a sus productos "mezcladoras de alto rendimiento". Y ahora muchos fabricantes hablan en sus prospectos sobre la posibilidad de ahorrar cemento con sus sistemas de mezclado. No obstante, no se mencionan ni ejemplos ni estudios. Por

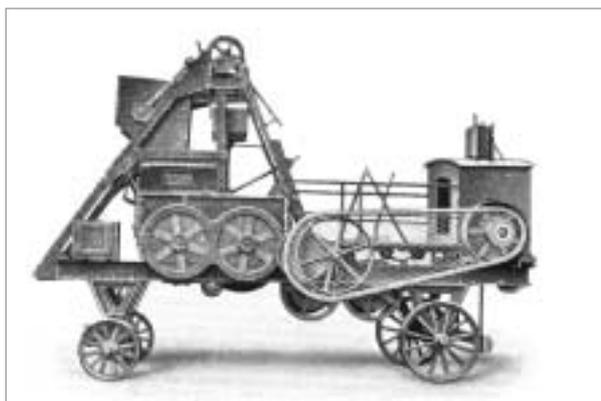


Fig. 5: Mezcladora de cuba con sistema de doble eje [18]

ejemplo, en Alemania, con 20.473.000 toneladas de productos de hormigón empleadas en 2002 [8] para la construcción de carreteras, jardines y espacios verdes, un ahorro de cemento del 5 % ya supondrían más de 100.000 toneladas de cemento.

Acerca de la durabilidad del hormigón

En los últimos años se habla cada vez más de la durabilidad del hormigón. Literalmente durabilidad significa que las propiedades para el uso exigidas durante un determinado periodo de tiempo (vida útil, duración) se mantienen bajo los esfuerzos planificados teniendo en cuenta la rentabilidad (costes de fabricación y mantenimiento adecuados) [9].

Hasta ahora no se han publicado estudios acerca de los efectos del proceso de mezclado sobre la durabilidad del hormigón. No obstante los autores tienen conocimiento de que en las escuelas superiores se está trabajando en ello.

El desarrollo de la técnica de mezclado: Sistemas de mezclado

La Asociación Alemana de Fábricas de Cemento, de Dusseldorf, Alemania, dice: "El mezclado mecánico se realiza por cargas en mezcladoras de tambor, de plato o de cuba, o de forma continua en mezcladoras continuas. Las mezcladoras de tambor no son muy indicadas para mezclas rígidas y ricas en cemento" [10].



Fig. 7: Mezcladora de cuba anular, 1903

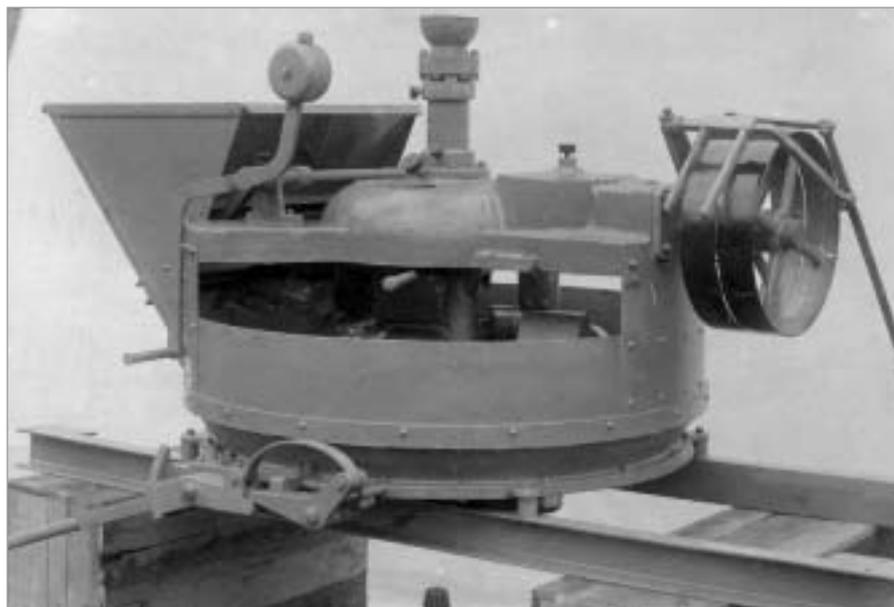


Fig. 8: Mezcladora planetaria, hacia 1910

Las mezcladoras de tambor son mezcladoras de caída libre. Aquí no se tendrán en cuenta. Las mezcladoras de plato o de cuba son mezcladoras de circulación forzada. En Internet se aclara lo siguiente [11]:

"Mezcladora de circulación forzada: El material de mezclado se mueve y se mezcla con unas herramientas de mezclado que giran con movimiento forzado. Las mezcladoras de circulación forzada están consideradas como mezcladoras que proporcionan una calidad de mezcla especialmente buena en la que influye notablemente la posición de las palas.

Mezcladora de plato:

Mezcladoras de circulación forzada

para mezclar hormigón, en la que están colocadas las palas de mezclado fijas o de circulación en un plato de mezclado circular fijo o de circulación con ejes verticales.

Mezcladora de cuba

Mezcladora de circulación forzada para mezclar hormigón, en la que hay uno o dos ejes de mezclado verticales en una cuba fija o basculante".

Dentro del grupo de mezcladoras de plato se encuentran las mezcladoras de cuba anular, las mezcladoras planetarias, las mezcladoras cónicas y las mezcladoras Eirich.

Dentro del grupo de mezcladoras de cuba se encuentran las mezcladoras de un eje y las mezcladoras de doble eje. ▶



Fig. 9: Estación de mezclado para la construcción del canal del Mar del Norte – Báltico (de 1907 a 1914)

Mezcladora de caída libre

En los inicios del hormigón eran comunes los hormigones semisecos, que se compactaban a presión, como en las construcciones hidráulicas y en las obras públicas. Ya desde comienzos del siglo XIX se fabricaban productos de hormigón como tubos para canales, tejas y baldosas, figuras y relieves plásticos, más tarde también construcciones con hormigón in situ como puentes, depósitos de agua o cimientos y sótanos con hormigón impermeable al agua [12]. Estos hormigones se podían fabricar mezclándolos a mano con la pala o más tarde con mezcladoras de caída libre especiales de madera o de metal, que se llenaban a pala.

Mezcladora de uno y de dos ejes

El gran salto en la construcción con hormigón llegó con la fabricación del “hormigón con hierros” (que más tarde se llamó “hormigón armado”) basa-



Fig. 10: Mezcladora Eirich, desarrollo de 1924

do en la patente de J. Monier de 1867 y 1878 [14]. Ahora se requerían hormigones más blandos para poder envolver la armadura completamente con pasta de cemento. Por lo tanto la técnica del mezclado debía ser mejor. Se fabricaron las primeras mezcladoras de circulación forzada, que en su mayoría se basan en el principio de la mezcladora de un eje (mezcladora de cuba o de tubo).

La **fig. 2** muestra una máquina mezcladora de cuba con puerta de descarga, hacia el año 1870, y la **fig. 3** una mezcladora de cuba cuya cubierta se podía volcar para la descarga [15].

Con esta patente de Alfred Kunz, de Kempten, Baviera, hacia 1900 se ofrecían mezcladoras de diferentes tamaños y modelos (**fig. 4**). No obstante el mercado acogió estas mezcladoras con cierto recelo. Las mezcladoras de un eje proporcionaban una mezcla de hormigón con finos de una calidad limitada; con áridos gruesos se originaba un elevado desgaste en las paredes de la mezcladora. Además las guías del eje están situadas dentro del material de mezclado.

A partir de las mezcladoras de un eje se fabricaron las mezcladoras de doble eje. En estas mezcladoras el material de

mezclado se reblandece en parte, el desgaste se redujo; sólo aprox. un 30 % de una vuelta del dispositivo de mezclado tiene un efecto de desgaste en el fondo de la cuba [17]. La fábrica de escoria de Sonthofen, filial de la Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke AG, en 1930 ofrecía mezcladoras tanto de un eje como con sistema de doble eje [18] (**fig. 5**). La empresa BHS Sonthofen, originaria de aquella, aún sigue fabricando mezcladoras de doble eje.

Actualmente, por ejemplo, Elba y Reich ofrecen mezcladoras de un eje. Y Amman, Arcen, BHS, Elba, Elematic, Liebherr, Lintec, OMG Sicoma, ORU, Reich, Simem, Stetter, Tekka y Wiggert, entre otras, ofrecen mezcladoras de doble eje.

Mezcladora cónica

Este sistema de mezclado también tiene unos 100 años de antigüedad, como lo muestra la **fig. 6**. El sistema no se ha impuesto en el mercado para el hormigón a pesar de que cuenta con la ventaja de una descarga sencilla.

También la denominación de “mezcladora cónica” existe desde 1910 [20]. En los sectores de la industria química, farmacéutica y alimentaria, las mezcladoras cónicas son muy comunes. En una cuba de mezclado en forma de cono se colocan uno o dos dispositivos agitadores; en las mezcladoras con dos dispositivos, éstos pueden funcionar en sentido contrario. Como fabricantes de este tipo de mezcladoras, en Internet se pueden encontrar empresas como amixon, Coperton Waeschle, Fryma Koruma, AVA-Huep, EMT Euro-Misch-Technik, BOLZ-SUMMIX, Glatt o Hosokawa.

Para el hormigón, la mezcladora cónica se ha vuelto a inventar. En el marco de la Jornadas de Prefabricados de Hormigón de Ulm, Alemania, la empresa Kniele obtuvo el premio de innovación 2003 de la Industria de Suministros de Prefabricados de Hormigón. En las mezcladoras cónicas de Kniele dos dispositivos agitadores circulan en sentido contrario y, según los datos del prospecto, su velocidad se puede regular gradualmente. No obstante, al mismo tiempo, Kniele describe “el reducido número de revoluciones del dispositivo agitador exteri-



Fig. 11: Anuncio, hacia 1930

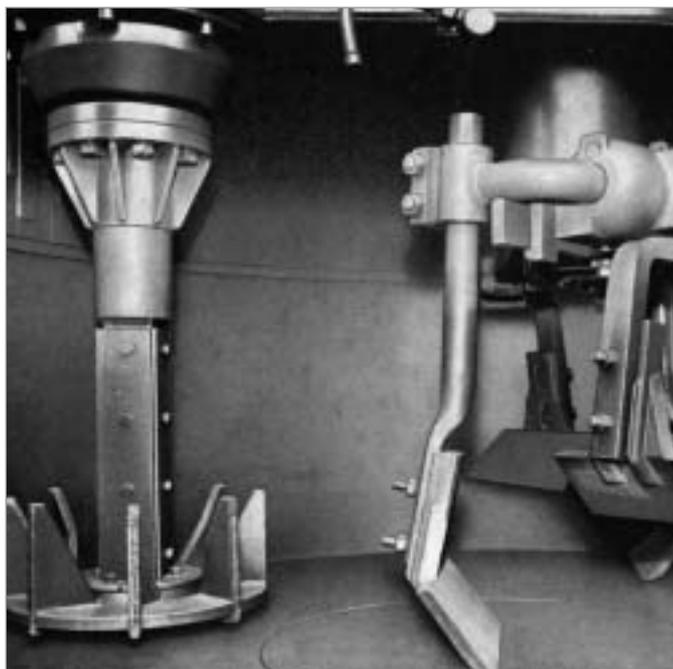


Fig. 12
Mezcladora Eirich con agitador, desarrollo de 1960

no, una prensa manual para tejas de hormigón y un dispositivo para fabricar a mano pequeños bloques y losas de hormigón” y “el expositor se quejaba de que no existía ninguna máquina adecuada para mezclar perfectamente el hormigón que necesitaba para sus aparatos moldeadores”.

Más tarde, los dos hermanos, Ludwig y Josef Eirich, estuvieron discutiendo para ver cómo podían ayudar a este hombre. El resultado llegó en 1903 con la primera mezcladora de cuba anular (fig. 7). Especialmente la industria en pleno desarrollo de los productos de hormigón acogió con mucho gusto estas mezcladoras.

Cuando hacia mediados del siglo pasado Eirich se retiró de la técnica de preparación de hormigón en masa, muchos fabricantes de mezcladoras descubrieron el antiguo principio de mezclado. Actualmente las empresas Kniele, Liebherr, Masa, OMG Sicoma, Pemat y Teka, entre otras, suministran mezcladoras de cuba anular.

or supone también un desgaste reducido en las paredes exteriores y en las rascadoras”. Por lo tanto, aquí, según los datos del fabricante, las velocidades de los dispositivos agitadores son bajas.

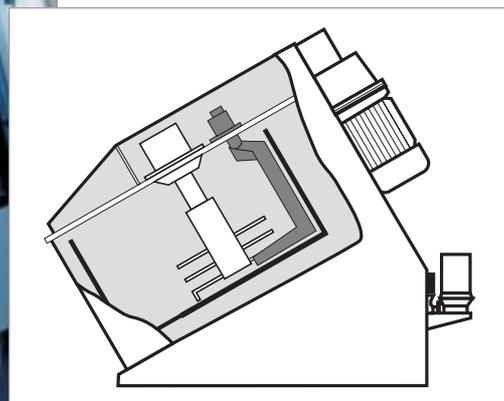
Por ejemplo, Kniele y Pemat suministran mezcladoras cónicas y troncocónicas para hormigón.

Mezcladora de cuba anular

Lo receptivo que estaba el mercado en 1900 para acoger un buen sistema de mezclado lo muestran las notas de los recuerdos de la vida de Willi Eirich (1900 - 1985). En 1968 escribió en una crónica de la empresa [21] “Comienzo de la construcción de mezcladoras de Eirich en Hardheim en el año 1903”: “Según me han contado, fue en el año 1903 cuando el tío



Fig. 14: Mezcladora Eirich con recipiente de mezclado inclinado



Ludwig, visitando una exposición en Dusseldorf, conoció por primera vez a un fabricante de moldes de adoquines de hormigón, lo que antes llamaban piedras artificiales. Este expositor le mostró moldes para pequeños tubos de hormigón compactados a ma-

Mezcladoras planetarias

En 1906 en la empresa Eirich se consideró que las mezcladoras de cuba anular estaban pasadas de moda y se creó la mezcladora planetaria (fig. 8).

En comparación con la mezcladora de cuba anular, estas mezcladoras ofrecían unos resultados de mezclado mejorados. En las primeras décadas del siglo XX, con estas mezcladoras con un depósito de mezclado fijo, se construyeron numerosas grandes obras de puentes y esclusas. Por ejemplo, para realizar el canal Kaiser-Wilhelm de Alemania (hoy el canal del Mar del Norte - Báltico) se construyeron diversas “plantas de hormigón” (fig. 9); la planta de hormigón I, situada junto

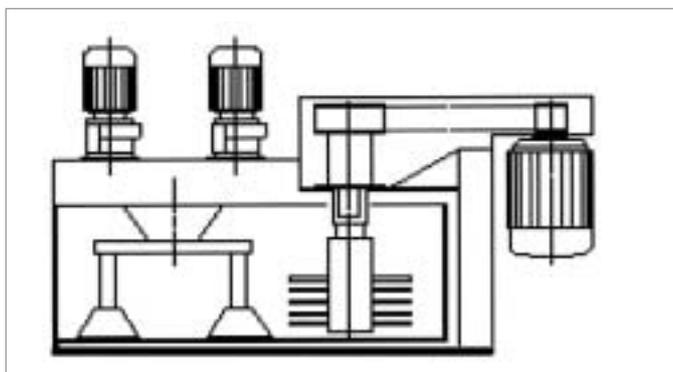


Fig. 13:
Mezcladora Eirich con agitador, esquema del funcionamiento

a las obras de la esclusa de Brunsbüttelkoog, con 5 mezcladoras producía 2000 metros cúbicos en 20 horas, la planta de hormigón II tenía un rendimiento a la hora de 250 metros cúbicos de hormigón [22].

Con las mezcladoras planetarias se pudo fabricar, por primera vez y con las condiciones de aquellos tiempos, mezclas de una elevada calidad; las mezcladoras se emplearon como “máquinas para mezclar hormigón y mortero”, así como “de forma inmejorable para mezclar piedra artificial, mortero seco, arena, xilolita, revoques finos, terrazo, macadam bituminoso, anilina, polvo, fertilizante artificial, etc.” [22]. Frente a otras máquinas de mezclado (mezcladoras de tubo) con los hormigones, por ejemplo, se pudo ahorrar cemento. Las mezcladoras se exportaron a todo el mundo. El fabricante estaba tan seguro del éxito de sus máquinas que ya en 1913 prestaba las mezcladoras durante un mes para que se probaran. No se devolvió ninguna mezcladora, todos los clientes las compraron.

En 1912 Eirich desarrolló la primera mezcladora planetaria de funcionamiento continuo [23]. Las mezcladoras continuas que se encontraban entonces en el mercado eran mezcladoras de cuba, desarrolladas a partir de la mezcladora de tubo; el registro de la patente describe “no obstante, con estas mezcladoras no tiene lugar un mezclado intenso de los diferentes componentes de la mezcla”.

Cuando a mediados del pasado siglo Eirich se retiró de la técnica de preparación de hormigón en masa, varios fabricantes de mezcladoras descu-



Fig. 16: Flujo del material de mezclado

brieron el antiguo principio del mezclado. Actualmente, las empresas Arcen, Damman-Croes, Fejmert, Haarup, Kniele, OMG Sicoma, ORU, Pemat, Schlosser-Pfeiffer, Simem, Sipe, Skako, Taurus, Teka y Wiggert, entre otras, ofrecen mezcladoras planetarias.

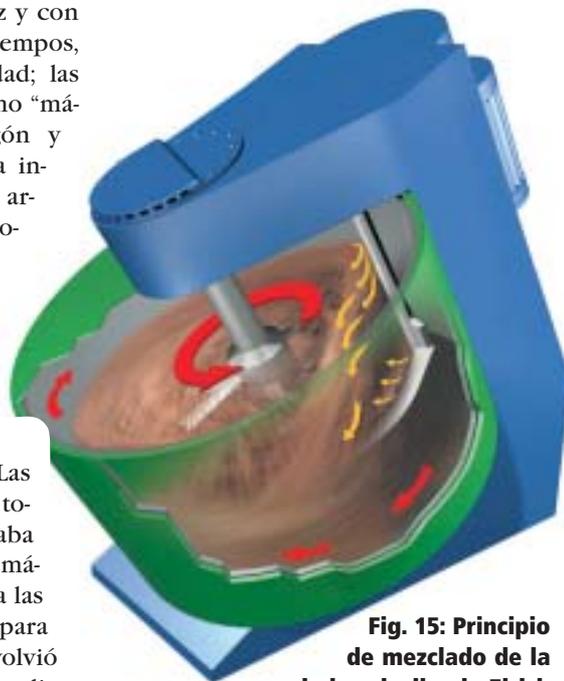


Fig. 15: Principio de mezclado de la mezcladora inclinada Eirich

Mezcladora contracorriente de alto rendimiento

En 1924 Eirich desarrolló por primera vez mezcladoras, cuyo recipiente de mezclado estaba accionado (fig. 10). Esta técnica de mezclado es especial. Las mezcladoras se introdujeron en diversos sectores con el nombre de “mezcladoras contracorriente de alto rendimiento Eirich” o sencillamente como “mezcladoras Eirich”.

Esta innovación también volvió a proporcionar nuevos rendimientos: relleno, mezclado y descarga en 40 segundos (fig. 11).

La fabricación de las mezcladoras planetarias se interrumpió en 1924. Las propiedades de las mezcladoras de cuba anular y planetarias y las propiedades de las mezcladoras Eirich se describieron en 1970 de la siguiente manera [24]:

Mezcladora de cuba anular y planetaria:

- El dispositivo anular sólo ofrece un efecto de mezclado limitado localmente.

- Fuerte desgaste en la pared y el fondo del recipiente de mezclado y en los dispositivos de mezclado.
- En las mezcladoras grandes se requieren numerosos dispositivos de mezclado.
- Un elevado nivel de la energía aplicada se pierde en el rozamiento (desgaste).
- La altura de relleno está limitada por la velocidad de circulación de las palas de mezclado.

Mezcladora Eirich:

- La posición excéntrica de la estrella de mezclado y su movimiento contra el flujo de material generado por el recipiente de mezclado rotatorio crea toda una serie de amplios cambios de posición de cada partícula de la mezcla en sentido vertical y horizontal, como requisito indispensable para obtener un mezclado más rápido e intenso.
- Los dispositivos de mezclado rozan la superficie del fondo del recipiente de mezclado varias veces en un movimiento de volteo de 5 a 10 segundos.
- Las palas de mezclado voltean el material como las palas de un arado.
- Se requieren pocos dispositivos de mezclado para mantener en continuo movimiento el material de mezclado.
- Los movimientos del recipiente de mezclado y del dispositivo de mezclado se suman. Incluso un relativamente reducido número de revoluciones proporcionan un elevado efecto de mezclado.
- Las rascadoras fijas en las paredes y las esquinas obligan a que todas las partículas del material participen en el proceso de mezclado.
- Los dispositivos de mezclado colocados en varios niveles permiten obtener una altura de relleno ventajosa y, con ello, un elevado rendimiento de mezclado.

Las mezcladoras vivieron un momento álgido hacia 1930. En aquel entonces se construyeron numerosas “carreteras de hormigón” [25]. En la revista DIE BETONSTRASSE (La carretera de hormigón) se hacía referencia a proyectos llevados a cabo en Europa y en EE.UU.

En 1931, en la revista TEER UND BITUMEN (Brea y asfalto) se presentó la

mezcladora Eirich como la única “máquina universal que se podía utilizar para los materiales más diversos, como brea, asfalto y hormigón” [26].

En aquel entonces ya era difícil aceptar nuevas mejoras. En 1928 se escribía en la revista de Weerdt sobre “Mezclas de prueba en una de las fábricas de hormigón más importantes de Alemania” y mencionaba: “Desgraciadamente incluso en esta época de la técnica sigue habiendo especialistas que no se resig-

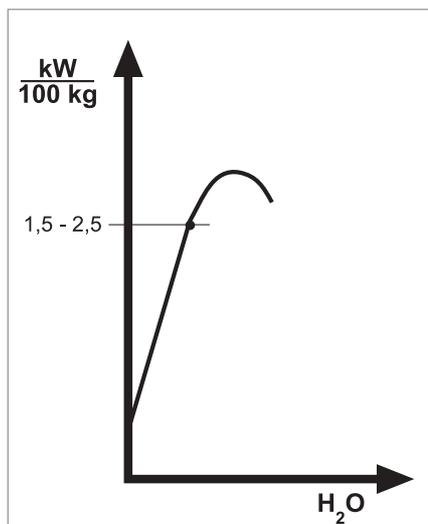


Fig. 17: Relación entre el aporte de energía y la consistencia

nan al hecho de que los sistemas de mezclado rentables y utilizables en otro tiempo puedan superarse hoy en día” [27]. En los ensayos se utilizaron mezcladoras de tubo, mezcladoras de cuba anular, mezcladoras planetarias y mezcladoras Eirich. De Weerdt describió también que “con la mezcladora Eirich se obtiene una resistencia de más del 40 % en 5/7 del tiempo de mezclado, referido a otros sistemas”.

La mezcladora Eirich aportó un aumento considerable a la resistencia.

Tab. 1 – Velocidades típicas del dispositivo de mezclado (velocidad perimetral)

Mezcladora de cuba anular, mezcladora planetaria	hasta 4 m/s
Mezcladora de un eje, mezcladora de doble eje	hasta 6 m/s
Mezcladora Eirich, tipo D, horizontal	hasta 25 m/s
Mezcladora Eirich, tipo R, inclinada	de 2 a 40 m/s

En el hormigón armado se registró, en un mezclado de un minuto de duración, un aumento de 178 a 377 kg/cm², en el hormigón de carreteras, de 354 a 666 kg/cm² [28]. La empresa italiana Croci fabrica actualmente una mezcladora contracorriente de alto rendimiento basada en la de Eirich de 1924.

Mezcladora contracorriente de alto rendimiento con agitador

En 1960 Eirich inventó una cuarta generación de mezcladoras: la mezcladora contracorriente de alto rendimiento con un agitador adicional que proporciona un mezclado óptimo (fig. 12 y fig. 13).

En ella el agitador puede circular a una velocidad periférica de hasta 25 metros por segundo. Su efecto se describió de la siguiente manera [24]: “Los agitadores de gran potencia colocados adicionalmente intensifican el movimiento de las partículas y homogenizan por completo los aditivos difíciles de disociar mezclando de forma óptima los pigmentos o los aditivos a la vez que se obtienen mayores ahorros (p.ej. cemento, cal, humo de hulla, bentonita, óxido u otros productos similares)”.

La combinación de

- un plato de mezclado horizontal rotatorio
- uno o varios dispositivos de mezclado colocados en posición excéntrica y que giran lentamente

- uno o varios agitadores colocados en posición excéntrica y que giran a gran velocidad permite obtener un proceso de mezclado especialmente intenso; por este motivo

estas mezcladoras se emplean en numerosas industrias.

Estas mezcladoras Eirich de la cuarta generación proporcionaban hormigones con una calidad desconocida hasta entonces. Entre 1960 y 1975 en numerosos sectores se sustituyó el modelo de mezcladora “1924” por el modelo “1960”, también en la industria del hormigón. De esta época datan numerosos escritos de reconocimiento. Y las mezcladoras de este tiempo aún se siguen utilizando, así como modelos anteriores. Incluso para las mezcladoras que están en funcionamiento hace ya más de 60 años, Eirich sigue suministrando aún hoy piezas de recambio y de desgaste. Los clientes siguen confirmando que incluso estas mezcladoras antiguas proporcionan un hormigón con una calidad extraordinaria, mejor que las mezcladoras convencionales modernas.

Mezcladora de alto rendimiento con recipiente de mezclado inclinado

Esta quinta generación de mezcladoras Eirich comenzó en el año 1972. Las mezcladoras tienen un plato de mezclado rotatorio en posición inclinada, una rascadora fija para el fondo y la pared, así como un agitador de giro rápido. Las mezcladoras de hasta tres metros cúbicos cuentan con un solo dispositivo de mezclado móvil; en las mezcladoras mayores hay dos o tres agitadores.

El principio del mezclado es único en

Tab. 2

	Cantidad de relleno [kg]	Áridos sueltos [l]	Hormigón compacto [m ³]	Potencia motor [kW]	Potencia específica [kW/100 kg]
Mezcladora de cuba anular	2400	1500	1,0	37	1,54
Mezcladora de cuba anular con agitador	2400	1500	1,0	37 + 22	2,46
Mezcladora planetaria	2400	1500	1,0	44	1,83
Mezcladora Eirich	2400	1500	1,0	90 *	3,75

* posible hasta 110 kW

el mundo. En el recipiente de mezclado, el material se transporta hacia arriba por medio del rozamiento de la pared. Desde allí cae por gravedad hacia abajo. Con ayuda de la rascadora de la pared, el material se conduce hasta el agitador de giro rápido (fig. 15 y fig. 16). En el tiempo en el que gira una vez el recipiente, es decir en pocos segundos, se voltea el 100 % del material. El agitador puede alcanzar una velocidad perimetral entre 2 y 40 metros por segundo.

Entretanto, estas mezcladoras se encuentran en la séptima generación y en muchos sectores proporcionan una elevada calidad de mezclado inmejorable. Dependiendo del trabajo de mezclado la mezcladora puede funcionar a contracorriente o en el mismo sentido. Con hormigones de gran calidad, la mayoría de las veces el recipiente de mezclado y el agitador circulan en la misma dirección porque de este modo se puede aplicar el máximo de fuerzas de cizallamiento en el material.

La diferencia característica entre las "mezcladoras sencillas" y las mezcladoras Eirich consiste en que en las mezcladoras Eirich el transporte del material de mezclado está separado del proceso de mezclado en sí. La separación entre el transporte del material y el proceso de mezclado permite variar mucho más la velocidad del dispositivo de mezclado (y con ello el aporte de energía a la mezcla) (Tab. 1). De este modo se puede controlar perfectamente la aplicación de energía en la mezcla.

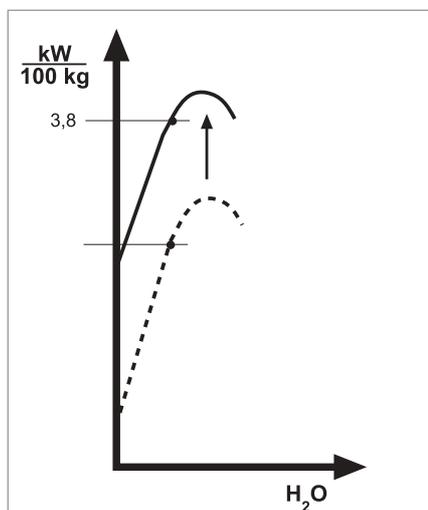


Fig. 18: Aumento del aporte de energía elevando la velocidad del dispositivo de mezclado

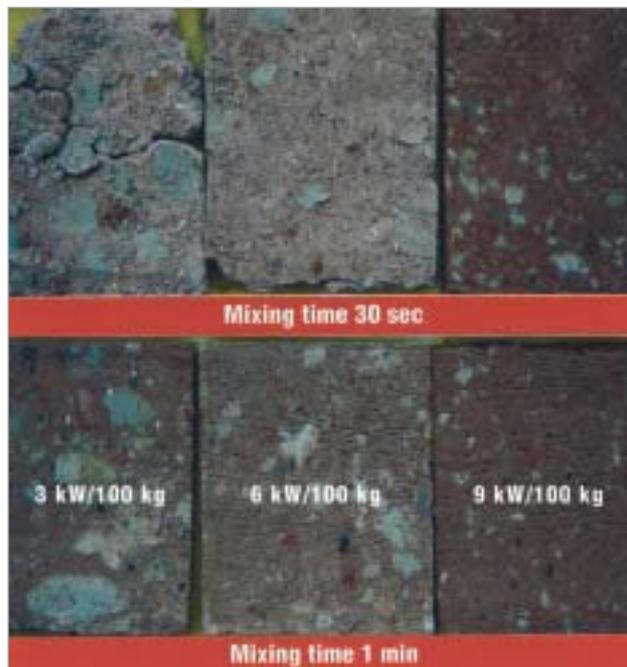


Fig. 19: Mezcla de arcilla y feldespato, pruebas al cabo de 2, 4 y 6 minutos de mezclado, fabricación en una mezcladora con un aporte de energía de 3, 6 y 9 kW/100 kg

En los otros sistemas, los dispositivos de mezclado tienen la labor principal de mover el material de mezclado. No es posible aumentar notablemente la velocidad.

Mezclar: ¿Qué es eso realmente?

Mezclar significa cambio de lugar. Se distinguen dos procesos fundamentales:

1. mezclado distributivo: cambio sencillo de la posición de las partículas; no requiere una elevada velocidad de las palas y
2. mezclado dispersivo: dispersión de aglomerados; requiere una elevada velocidad de las palas.

Existen muchos parámetros que afectan al proceso de mezclado. Por ejemplo el tamaño de las partículas, la distribución granulométrica de las partículas, la forma de las partículas, la rugosidad de la superficie, la diferencia de densidades, la fuerza de adherencia o la capacidad de corrimiento.

El proceso de mezclado se puede dividir en mecanismos:

- del mezclado grueso (intercambio de partículas gruesas entre los circuitos del flujo), y
- el mezclado fino (cambio de lugar de partículas contiguas).

Para mezclar hormigón se debe emplear energía. Empleando energía cinética se le debe aplicar a los componentes una velocidad relativa lo más elevada posible. Las diferentes

partículas deben cambiar de posición continuamente una detrás de otra.

¿Por qué a veces es importante una elevada velocidad de mezclado?

Con el fin de poder proporcionar un cambio de lugar en la mezcladora se debe emplear energía, se debe aplicar energía al sistema. En una determinada mezcladora se establece un aporte de potencia / un consumo de energía, que sólo depende de la consistencia del material de mezclado. De forma experimental, de la carga motora eficaz para un determinado proceso de mezclado y del peso de la mezcla resulta la llamada potencia específica en kilovatios por 100 kilogramos.

A partir de la potencia del motor de las mezcladoras se puede calcular la potencia específica máxima. La tabla 2 muestra un ejemplo (a partir de los datos del prospecto).

Una mezcla seca consume menos energía, una mezcla plástica, mucha. Con respecto a un hormigón con una determinada consistencia, para una mezcladora sencilla en nuestro ejemplo resulta un aporte de energía de 1,5 a 2,5 kW por cada 100 kg (fig. 17).

La energía de mezclado necesaria para fabricar un hormigón "bueno" depende de su composición. Todo el mundo sabe que un mortero o un hormigón fino es mucho más difícil de mezclar que un hormigón con unos granos de 0/16 ó 0/32; los granos



Fig. 20: Adoquín con huecos, colocado en 1997

partidos dispersan los pigmentos más rápidamente que los granos redondos, etc.

Por lo tanto en una mezcladora convencional no se tiene la posibilidad de aumentar la aplicación de energía. Por el contrario, en las mezcladoras Eirich se puede regular ampliamente el aporte de energía con la velocidad del dispositivo de mezclado (fig. 18). En el ejemplo anterior, la mezcladora está ajustada con una aplicación de energía de hasta 3,75 kW por cada 100 kg.

¿Por qué una mayor velocidad del dispositivo de mezclado proporciona un mayor aporte de energía? El aporte de energía es muy complicado en una mezcladora y hasta ahora no se puede describir matemáticamente. Pero en una primera aproximación se puede comparar la mezcladora Eirich con un agitador. En un agitador, según la teoría de un agitador ideal, el consumo de energía es proporcional al cubo (tercera potencia) de la velocidad perimetral.

Únicamente la mezcladora Eirich puede mezclar de forma estable a una velocidad entre 2 y 40 metros por segundo. De este modo se puede adaptar de forma óptima a la aplicación correspondiente. Cuando un material se mezcla una vez a dos metros por segundo y otra vez a ocho metros por segundo, según la teoría, esto significa un aporte de energía casi 20 veces mayor. Esto se traduce, especialmente en los hormigones finos, en mezclas de mejor calidad.

¿Qué aporta una elevada velocidad de mezclado al tiempo de mezclado?

Una velocidad más elevada significa un mayor aporte de energía y, también, tiempos de mezclado más breves. Por ejemplo: un trabajo de mezclado con una necesidad de energía de 2 kW/h por tonelada. Una mezcladora convencional con un aporte de potencia específica de 10 kW por tonelada requiere un tiempo de mezclado de 12 minutos, una mezcladora Eirich con un aporte de potencia específico de 50 kW por tonelada requiere un tiempo de mezclado de 2,4 minutos.

En las mezcladoras Eirich del tipo R, por medio de la velocidad del dispositivo de mezclado se puede elevar notablemente el aporte de energía cuando lo requiera el trabajo de mezclado. Los estudios realizados hasta el momento en una universidad han dado como resultado que con velocidades del dispositivo de mezclado en torno a los dos metros por segundo, en las mezcladoras inclinadas Eirich se puede simular el rendimiento de mezclado de una mezcladora planetaria. Este tipo de velocidades lentas se utilizan en las mezcladoras Eirich principalmente para trabajar áridos ligeros en una suspensión se mortero preparada con una elevada velocidad para, así, fabricar hormigones ligeros sin romper los granos, o para entremezclar áridos gruesos y densos.

¿Por qué los sistemas de mezclado convencionales no pueden mezclar más rápidamente?

En todo proceso de mezclado tiene lugar un proceso de disgregación. En

numerosas publicaciones se ha descrito la disgregación en el mezclado. Así, en 1996, Koch y otros describieron algunos ensayos con una mezcladora horizontal de un eje [29]. Las partículas pesadas se agrupan en la zona exterior y las ligeras en la zona del eje. Esto se explica porque "con el movimiento de las palas, a las partículas pesadas se les transmite un impulso mayor que a las ligeras. Por eso se aceleran más, hasta alcanzar la zona extrema del tambor de mezclado".

En principio esto ocurre con todos los sistemas de mezclado. La diferencia en las mezcladoras inclinadas Eirich es que con una vuelta del recipiente de mezclado se consigue un volteo del material del 100 % y, con ello, un mezclado intenso. Por eso esta mezcladora puede trabajar sin segregaciones incluso con elevadas velocidades del dispositivo de mezclado.

¿Cómo se determina el trabajo de mezclado que debe aplicarse a una determinada tarea de mezclado?

El único camino es el camino de los ensayos, hasta acabar con la calidad de mezclado deseada. Hoy día, para los hormigones no se conoce ningún valor para la energía de mezclado que se debe aplicar para mezclar lo suficiente cada tipo de hormigón. No obstante, los autores tienen el conocimiento de que varias escuelas superiores están investigando para establecer una energía de mezclado para "hormigones modernos".



Fig. 21: Adoquín con marcas de pigmento, colocado en 1997

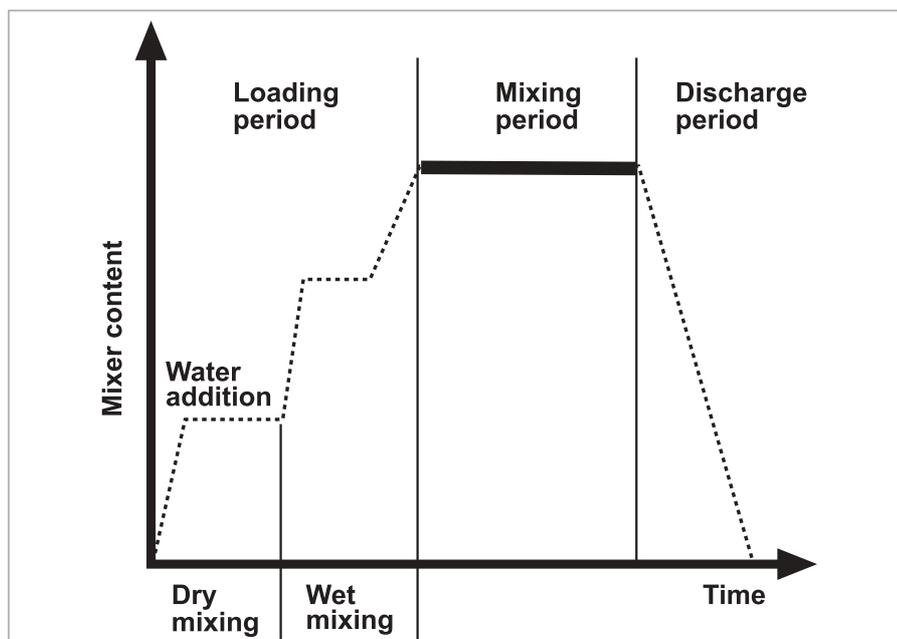


Fig. 22: Evolución del mezclado según RILEM

El significado de la calidad de mezclado se puede visualizar en un ejemplo de la industria cerámica. Cuando se mezcla una arcilla clara y una oscura, es decir se amasa, la homogeneidad se reconoce a simple vista. Esto se muestra en un ejemplo de una mezcla de arcilla y feldespato. Durante el mezclado se tomaron pruebas de la mezcladora y se prensaron para formar cuerpos de prueba. Después se cortaron en dos piezas (fig. 19). Para el tamaño visible de las partículas de arcilla que todavía no se habían disgregado se dieron unas notas de 1 (mezcla homogénea) a 5 (partículas de arcilla visibles de hasta 15 mm). La **tabla 3** muestra el resultado del experimento. Un aumento del aporte de potencia de 3 a 9 kW/100 kg dio como resultado que el tiempo de mezclado se re-

dujo de 15 minutos a 4 minutos. La energía de mezclado (y con ello el consumo de energía) se redujo de 7,5 a 6 kW/h por tonelada.

Esto está relacionado con que no toda la energía aplicada tiene un efecto de energía de mezclado, sino que se transforma en rozamiento y desgaste inútiles. De este modo, el empleo de mezcladoras de alto rendimiento ahorra, además de tiempo, energía, y con ello dinero.

La calidad del mezclado

Para cada tarea de mezclado existe una calidad de mezclado óptima. Para conseguirla se debe aplicar la cantidad de energía necesaria en el sistema. Según la teoría, la calidad del mezclado es un valor de las variaciones de

las propiedades de un producto en la mezcla presente. Describe el valor de la inhomogeneidad de la mezcla en el proceso de mezclado. El parámetro comparable en el proceso de producción es la constancia de la calidad. La calidad de la mezcla y la constancia de la calidad son por lo tanto características de calidad que no describen las propiedades en sí, sino sólo su inhomogeneidad. Lamentablemente, hasta ahora no existe ningún método adecuado que pueda determinar la calidad del mezclado durante el proceso de mezclado del hormigón. Solamente después se percibe que se ha mezclado en un tiempo demasiado breve.

En los prefabricados de hormigón y en otros productos de hormigón se puede apreciar la mala calidad del mezclado en el producto listo, como en los adoquines con grumos de arena o acumulaciones de pigmento.

En ambos casos se comprobó que no se habían utilizado mezcladoras Eirich.

En otros sectores, a menudo no se aprecia el aspecto exterior del producto fabricado; los problemas vienen cuando se utiliza, por ejemplo cuando se ve una raya de pigmento en la junta lista de los azulejos.

Investigaciones independientes

También los institutos independientes confirman las calidades de mezclado de las mezcladoras Eirich, que no se pueden obtener con otros sistemas de mezclado. El Instituto de Técnicas de Prefabricación y Construcción Prefabricada (IFF) de Weimar, Alemania, llevó a cabo una investigación sobre mezcladoras planetarias / mezcladoras Eirich en pruebas de hormigón de un fabricante de productos de hormigón. En el informe "Estudios sobre la calidad del mezclado de las mezclas de hormigón para la capa exterior" del 11 de febrero de 2003 se puede leer: "La mezcladora Eirich [...] se caracteriza por unos tiempos de mezclado muy breves [...] ventajas económicas [...]". Después se destaca la elevada uniformidad del hormigón preparado con la mezcladora Eirich. En cuanto a la densidad aparente del hormigón fresco, el coeficiente de variación fue del 0,19 % con la mezcladora Eirich, por el contrario, con la mezcladora planetaria fue del 0,46 %.

Tiempo de mezclado [Minuten]	Aporte de potencia 3 kW/100 kg [grado de homogeneidad]	Aporte de potencia 9 kW/100 kg [grado de homogeneidad]
0,5	5	3
1	4	2
2	4	2
3	3	2-1
4	3	1
6	3	
8	2	
10	2	
12	2-1	
15	1	

Tabla 3



Fig. 23: Parte del puente de hormigón ultra resistente, fabricado por Max Bögl

Lo mismo ocurre con el contenido de agua, el porcentaje de sólidos y la resistencia a las heladas y las sales de deshielo. A las mezcladoras Eirich se les atribuye “una mayor uniformidad de la calidad de hormigón” que se alcanza “en un tiempo de mezclado mucho más breve que con la mezcladora X” [30].

En la determinación de la calidad de la disolución del pigmento (midiendo la intensidad del color a cargo de la empresa Bayer AG en 3 adoquines con 2 puntos de medición; en comparación con el adoquín de referencia = valor 100), en el adoquín con hormigón de la capa exterior de la mezcladora Eirich dio como resultado una oscilación de 8 unidades (136-144); los adoquines de dos mezcladoras sencillas registraron unas oscilaciones de 33 y 34 unidades (100-132, 126-160).

También en otros sectores en los que se requieren mezclas de calidad se habla muy bien de las mezcladoras Eirich. Por ejemplo para preparar mezclas de vidrio: “Las rápidas mezcladoras Eirich proporcionan mezclas con una elevada homogeneidad”. Esta es la razón por la que Philips utiliza mezcladoras Eirich en todo el mundo. [31].

El 12 de mayo de 2004 se presentaron algunos estudios comparativos de gran alcance acerca de la calidad de la mezcla de diferentes mezcladoras de alto rendimiento que se utilizan para preparar mezclas de vidrio [32]. No ha sorprendido el hecho de que el pe-

or resultado lo haya obtenido la mezcladora de cuba anular y el mejor, la mezcladora inclinada Eirich. La influencia de la calidad de la mezcla en el funcionamiento del recipiente de vidrio es clara.

Ventajas y aprovechamiento

Los diferentes proveedores de mezcladoras de doble eje, de mezcladoras de cuba anular y de mezcladoras planetarias tienen productos muy similares. La tarea consiste en convencer a los clientes de que sus mezcladoras son mejores que las mezcladoras de otro fabricante que funcionan con el mismo sistema.

Una buena mezcladora es una adquisición para varias décadas. Por ello, quien necesite una nueva mezcladora tiene que comprobar exactamente qué rendimiento real se esconde tras afirmaciones como:

- somos uno de los más importantes,
- en 1950 hemos inventado la mezcladora planetaria,
- ahorramos cemento,
- ofrecemos 5 años de garantía,
- contamos con el sistema de mezclado más innovador,
- mezclamos con velocidades diferenciales

Algunas afirmaciones como “mi mezcladora necesita poca electricidad...” se deben tomar con cierto escepticismo. La energía es el producto del rendimiento por el tiempo. Las leyes de la física también valen para la energía

de mezclado del hormigón.

También se deben preguntar siempre los datos sobre el tiempo de mezclado. Según RILEM [33], algunos fabricantes entienden que se trata del breve tiempo de mezclado listo, después de añadir todos los componentes (fig. 22, línea gruesa). El tiempo real de mezclado es bastante más largo.

Después de expirar las patentes vigentes de Eirich, algunos fabricantes de mezcladoras de cuba anular y de mezcladoras planetarias han integrado también en sus mezcladoras dispositivos agitadores. De todas formas los efectos son muy modestos porque, por un lado, se registran calidades de mezclado muy bajas y, por otro, el material de mezclado no llega al agitador. Por eso, el aporte de energía adicional se mantiene dentro de unos límites, como muestra el ejemplo de la mezcladora de cuba anular con agitador presentado en la tabla 2.

Entretanto, algunos fabricantes aconsejan “elevar el número de revoluciones durante el proceso de mezclado con el fin de aumentar la intensidad del mezclado” [34]. Quien necesite una mezcladora con un mayor número de revoluciones debería solicitar a los proveedores el aporte de energía específico y hojear los documentos de referencia.

De Eirich también se tomó la denominación “mezcladora contracorriente de alto rendimiento”. Pero una nueva denominación no convierte una mezcladora planetaria en una mezcladora Eirich. Ya se mencionó que actualmente para aplicaciones de hormigón la mezcladora inclinada Eirich funciona principalmente en el mismo sentido.

Mezclado continuo

En los sectores de los prefabricados de hormigón, tubos de hormigón y productos de hormigón se mezcla principalmente con cargas. Por ello prescindimos de presentar mezcladoras continuas que se ofrecen como mezcladoras de cuba, mezcladoras de plato y mezcladoras Eirich.

Procesos de mezclado de varios pasos

En algunas aplicaciones se persigue el mezclado con diferentes velocidades.

Por ejemplo con hormigones ligeros o de fibras de vidrio, primero se fabrica un mortero plástico con una elevada velocidad de los dispositivos de mezclado; en la fase plástica tiene lugar un máximo aporte de energía, una disolución óptima de las partículas finas y del aglomerante. Las velocidades de los dispositivos de mezclado se sitúan frecuentemente por encima de los diez metros por segundo, de manera que es suficiente con 30 segundos de mezclado. Al final del breve tiempo de mezclado se añade el resto de agua necesaria para la receta. Con velocidades reducidas se entremezclan sin romperse los áridos ligeros o las fibras de vidrio. De forma análoga se lleva a cabo la fabricación del hormigón espumado.

Los autores tienen el conocimiento de que en las escuelas superiores se trabaja en procesos de mezclado "híbridos" de varios pasos para hormigones autocompactantes. Actualmente, el tiempo de mezclado para el hormigón autocompactante (HAC) en una mezcladora Eirich es de 70 segundos (a partir de comenzar a añadir el agua de mezclado).

Mezclar en una mezcladora al vacío

En los hormigones ultra resistentes (Ultra High Performance Concrete,

UHPC) se puede querer eliminar, aún en la mezcladora, el aire introducido durante el proceso de mezclado. Los hormigones con una consistencia de viscosa a granulosa no permiten retirar el aire con el vibrado.

En las mezcladoras inclinadas Eirich es posible, por un lado, preparar de forma ideal este tipo de hormigones finos y, por otro, estas mezcladoras están disponibles en su versión al vacío. Al final del proceso de mezclado la presión del recipiente de mezclado se reduce en 30 segundos hasta 50 hPa. En el marco de un proyecto de investigación de la Universidad Técnica de Múnich, Alemania, en colaboración con las empresas Degussa, Eirich, Ph. Holzmann, Schwenk, Woermann y Hochtief, con esta técnica de mezclado se desarrolló un hormigón de granos finos de alto rendimiento [35].

Con motivo de las III Jornadas de Materiales y Construcción Prefabricada de Kassel, celebradas el 10 de septiembre de 2003 con el tema "Hormigón Ultra Resistente: planificación y construcción del primer puente de UHPC en Europa" [36], la empresa Max Bögl, de Neumarkt, Alemania, presentó el prototipo de un segmento de puente (fig. 23). El hormigón se preparó en una mezcladora al vacío de Eirich (fig. 24).

Algunas escuelas superiores que trabajan en hormigones del futuro, utilizan la mezcladora al vacío de Eirich, disponible con un volumen de 3 a 7000 litros.

Mezclar en caliente, mezclar en frío

Un gran número de fabricantes de mezcladoras dominan la aplicación de aire caliente, agua caliente o vapor caliente para fabricar hormigones calientes. Actualmente, para el mezclado en frío, además de añadir agua helada, también existe el enfriamiento con nitrógeno líquido. Este nuevo método de enfriamiento que ya se ha probado en camiones hormigonera se emplea, por ejemplo, en una mezcladora Eirich para fabricar un hormigón especial resistente al fuego, independientemente de las condiciones atmosféricas, siempre a 16 grados Celsius. La técnica también se puede utilizar con hormigones normales.

Desgaste

En las mezcladoras de cuba anular ya se sabe que el resultado de la mezcla también depende del desgaste de las palas de mezclado. Sobre esto se debe basar la afirmación general de que en las mezcladoras de circulación forzada "la posición de las palas influye notablemente en la calidad de la mezcla" [11].

Los cálculos y la experiencia del fabricante deben determinar hasta qué grado de desgaste las mezcladoras siguen mezclando sin problemas.

Para reducir el desgaste del fondo, las paredes y los dispositivos de mezclado se dispone de diversos materiales, hasta cerámica y metal duro. Los diferentes fabricantes cuentan con valores recogidos de la experiencia pero no se publican. En general rige: en una mezcladora el desgaste tiene lugar principalmente en la zona entre los elementos de la máquina verticales y los de giro. Esto significa:

Mezcladoras con recipiente de mezclado fijo: susceptibles de desgaste son tanto los dispositivos de mezclado como el recipiente de mezclado de donde los dispositivos de mezclado toman el material.

Mezcladoras Eirich con recipiente de



Fig. 24: Mezcladora al vacío de Eirich, modelo RV 23 Vac



Fig. 25: Mezcladora de funcionamiento continuo para mineral de hierro, con un volumen útil de 6000 litros

mezclado giratorio: susceptibles de desgaste son sobre todo los dispositivos de mezclado (en las mezcladoras inclinadas: el agitador)

Estas afirmaciones sorprenden, no obstante, en las mezcladoras Eirich la velocidad del dispositivo de mezclado es mucho mayor. Sin embargo, el desgaste es menor. Quien haya visitado a los fabricantes de mezcladoras en la feria Bauma 2004 de Múnich, habrá visto, en muchos casos, mezcladoras con un revestimiento cerámico. Pero no en Eirich. En estas mezcladoras se emplea la cerámica sólo en casos muy especiales, por ejemplo cuando las mezcladoras de funcionamiento continuo, con un rendimiento de 750 toneladas a la hora, funcionan durante nueve meses sin interrupción, como es el caso de las mezclas de mineral de hierro, hasta con cinco millones de toneladas de producción sin reparaciones por desgaste (fig. 25).

El hecho de que las mezcladoras Eirich funcionan con un bajo desgaste ya se mencionó en 1928. Un usuario que utilizaba varios sistemas de mezclado comentaba que las paredes de la mezcladora apenas presentaban signos de desgaste. Él lo explicaba diciendo que “la energía de rozamiento del material de mezclado aparecía principalmente dentro del mismo material de mezclado” [37].

El hormigón como objeto de investigación y desarrollo

Como ya se ha comentado en la introducción, las universidades y escuelas

superiores de todo el mundo trabajan para fabricar hormigones con un rendimiento aún más elevado: los hormigones del futuro que, en parte, sustituirán al acero. Actualmente, los tecnólogos del hormigón, y los que estudian para serlo, tienen a disposición mezcladoras que no sólo tienen un interruptor de encendido y apagado, sino una velocidad única.

Además de las mezcladoras de laboratorio de 3 a 5 litros (R 02) y de 8 a 10 litros (RV 02) Eirich recomienda especialmente la mezcladora de laboratorio con un volumen de 40 litros (R 05) o de 75 litros (R 08). Para estos tamaños (y también para la R 09, de 150 litros, que se emplea en varios institutos) se diseñó un sistema de control inteligente que es único en todo el mundo dentro de su estilo: las velocidades del accionamiento del recipiente de mezclado y del agitador se pueden variar mucho más; los parámetros se pueden documentar.

El aporte de energía del accionamiento del recipiente y del agitador se puede calcular, documentar e incluso representar gráficamente durante el proceso de mezclado.

Todo el aporte de energía se puede preseleccionar; después de aplicar esa cantidad de energía, el proceso de mezclado finaliza automáticamente, es decir que la mezcladora se apaga.

Con este equipo, por un lado, la energía del mezclado se puede calcular, por otro, se puede estudiar cómo afectan en el hormigón unas condiciones de ensayo variadas (p. ej. velocidad del dispositivo de mezclado, forma geométrica del dispositivo de mezclado, mezclado a contracorriente, mezclado en el mismo sentido).

Perspectivas

Los fabricantes de prefabricados de hormigón y de productos de hormigón disponen de diversos tipos de mezcladoras. Generalmente, para los hormigones normales es suficiente con sistemas de mezclado convencionales. La elección debe tomar en consideración si el proveedor de mezcladoras puede ofrecer buenas referencias.

Para hormigones finos y de alto rendimiento las mezcladoras convenciona-

les suelen estar, a menudo, sobrecargadas. En este caso decide, finalmente, el fabricante de hormigón si se puede permitir ofrecer al mercado productos probablemente de baja calidad (ver adoquines en fig. 20 y 21). Como alternativa puede retirar las piezas defectuosas. Pero las piezas defectuosas cuestan dinero. La inversión en una nueva máquina de mezclado se puede amortizar en poco tiempo.

Holger Karutz citaba en el editorial de la revista técnica BFT 11/2003 al reformador social inglés John Ruskin, (1819 - 1900) [38]: “Apenas existe nada en este mundo que alguien no lo pueda hacer un poco peor y lo pueda vender algo más barato, y las personas que sólo se orientan por el precio son la presa ideal de estas manipulaciones. No es inteligente pagar demasiado, pero aún es peor pagar demasiado poco. Si usted paga demasiado, entonces pierde algo de dinero, eso es todo. Pero si por el contrario usted paga demasiado poco, a veces pierde todo, porque el objeto comprado no puede satisfacer la tarea para la que estaba pensado. La ley de la economía prohíbe obtener mucho valor por poco dinero. Si usted acepta la oferta más baja, entonces debe pagar algo por el riesgo que está aceptando. Y si usted hace eso, entonces también tiene dinero suficiente como para pagar por algo mejor”.

También hoy en día, cien años más tarde, esto sigue vigente. Las palabras de Ruskin se denominan actualmente como “conocimiento de la gestión” y “lema de la economía”.

“Quien trabaja con el pico del abuelo sólo obtiene el rendimiento del abuelo y gana el dinero del abuelo”, escribió Gerhard Klöckner, editor de PHI, en el editorial del nº 5 de octubre de 2002 de la revista técnica PHI. “La respuesta a la crisis sólo puede ser esta: ser mejor que la competencia, [...] producir de forma ventajosa. Esto significa cometer menos errores, fabricar menos piezas defectuosas” [39].

En cualquier aplicación el primer paso debe ser un hormigón bien mezclado, para ser mejor que nadie.

Bibliografía:

- [1] Hillemeier, B.: Neue Baustoffe – Innovationen aus der Mikrowelt, Akademie-Journal 1/2001, S. 24-28
- [2] DIN EN 206-1 – Produktionskontrolle, Beton Kalender 2002, Ergänzungsband, Verlag Ernst & Sohn, Weinheim, S. 233 f
- [3] Bereiten und Verarbeiten von Beton, Zement-Merkblatt Betontechnik, B7 8.2002, Bauberatung Zement, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, August 2002
- [4] Ferraris, Ch. F., J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106, 391–399 (2001)
- [5] Ries, H.: Die Intensiv-Aufbereitung von Beton – Grundlagen und Ergebnisse aus der Praxis, Betonstein-Zeitung Heft 4, 1967, Sonderdruck Maschinenfabrik Gustav Eirich, 1969
- [6] Wischers, G: Einfluss langen Mischens oder Lagerns auf die Betoneigenschaften, Beton 13 (1963), Heft 1, S. 23-30 und Heft 2. S. 86 –90
- [7] Umek, A: Die Intensivaufbereitung des Betons, Untersuchungen Universität Ljubljana, Sonderdruck Maschinenfabrik Gustav Eirich, 1973
- [8] Beton + Fertigteil-Jahrbuch, 52. Ausgabe, Bauverlag, Gütersloh 2003, S. 342
- [9] Zement Taschenbuch, Verein Deutscher Zementwerke, Verlag Bau + Technik, 50. Ausgabe 2002, S. 179
- [10] Zement Taschenbuch, Verein Deutscher Zementwerke, Verlag Bau + Technik, 50. Ausgabe 2002, S. 446
- [11] www.baumarkt.de/lexikon
- [12] Zement Taschenbuch, Verein Deutscher Zementwerke, Verlag Bau + Technik, 50. Ausgabe 2002, S. 184
- [13] Bild entnommen der BETONSTEIN-ZEITUNG, Heft 10/1964, S. 529
- [14] Zement Taschenbuch 2000, Verein Deutscher Zementwerke, Verlag Bau + Technik, 49. Ausgabe, S. 187
- [15] Patentschrift Nr. 71321 Kaiserliches Patentamt, Deutschland
- [16] II. Beton-, Zement- u. Kalkindustrierausstellung Berlin, 2. Juni bis 18. Juli 1910, Firmenschrift K. Bayr. Hüttenamt Sonthofen
- [17] BHS, Prospekt Doppelwellenmischer, 07/2003
- [18] Bayer. Berg-, Hütten- und Salzwerke AG, Zweigniederlassung Hüttenwerk Sonthofen, Prospekt Baumaschinen, 1930
- [19] Maschinenfabrik Rhein und Lahn, Gauhe, Gockel & Cie., Oberlahnstein, Katalog 1908
- [20] Maschinenfabriken Karl Peschke, Zweibrücken, Katalog 1910
- [21] Mitteilung von Paul Eirich, Maschinenfabrik Gustav Eirich, Hardheim
- [22] Prospekt 'Universal-Mischmaschinen Patent Eirich', Klöckner-Werke AG, Abteilung Georgs-Marienhütte, Osnabrück, um 1920
- [23] Kaiserliches Patentamt, Patentschrift Nr. 267965, Deutschland
- [24] Aus 'Typenübersicht der Eirich Gegenstrom-Mischer', Hardheim, um 1970
- [25] DIE BETONSTRASSE, Nummer 4, 1.4.1928, 3. Jahrgang
- [26] Seiler, E.: Die Maschinen des neuzeitlichen Straßenbaues, TEER UND BITUMEN, 1. März 1931, Heft 7, 29. Jahrgang
- [27] De Weerd, H.E. Fehlerfreie Betonmischungen, Westfälische Bauzeitung Köln, Nr. 32 vom 8.9.1928
- [28] Garbats, G.: Leistungsversuche an Beton-Mischmaschinen und O. Graf, Die wichtigsten Ergebnisse der Versuche mit Beton-Mischmaschinen, VDI Zeitschrift, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure Heft 23, Sonderdruck Maschinenfabrik Gustav Eirich
- [29] Koch, T., Hauser, G., Zettl, T und Sommer, K.: Mischzeitenbestimmung an einem horizontalen Einwellenmischer, Schüttgut, 2. Jahrgang, Nummer 1, Januar/März 1996; Sonderdruck der Fa. Zettl, München
- [30] Untersuchungen des IFF Weimar: Gleichmäßigerer Beton mit Eirich-Mischtechnik, Beton Fertigteiltechnik (BFT), 4/2003, S. 93
- [31] Philips values performance, reliability of intensive batch mixers, Case history, PBE International, September/October 2003, S. 22-24
- [32] Rikken, F., Industrial Service & Support, Philips Lighting Components, Powder Technology & Project Management, Eindhoven, The Netherlands, auf Symposium Mischtechnik, Hardheim / Deutschland, 12. Mai 2004
- [33] Charonnat, Y. und Beitzel, H.: RILEM TC 150 ECM, Mater. Struct. (Suppl. 196) 30, 28-32 (1997)
- [34] Doppelwellen-Chargenmischer im Mittelpunkt des Messeauftritts, BHS-Sonthofen GmbH, BetonWerk International (BWI) Nr. 1 Februar 2004, S. 47
- [35] Schachinger, I. A.: Hochleistungs-Feinkornbeton, TU München, Schriftenreihe Baustoffe Heft 3/2003, Jahresmitteilungen 2002/2003, S. 55
- [36] Schmidt, M. und Fehling, E.: Tagungsbeiträge zu den 3. Kasseler Baustoff- und Massivbautagen, Ultra-Hochfester Beton - Planung und Bau der ersten Brücke mit UHPC in Europa, Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau 2, kassel university press, 2003
- [37] Schmidt, Der Gegenstrom-Schnellmischer, Beton und Eisen, XXVII Jahrgang 1928, Heft 4, Sonderdruck Maschinenfabrik Gustav Eirich
- [38] Karutz, H.: Herbstgedanken, Editorial zu Beton Fertigteiltechnik (BFT), 11/2003, S. 1
- [39] Klöckner, G.: Beton – Baustoff des 3. Jahrtausends, Editorial zu BWI BetonWerk International Nr. 5 Oktober 2002, S. 3

Más información



EIRICH

Peter Nold, Ralf Löbe
Maschinenfabrik Gustav Eirich
Waldürner Straße 50, 74736 Hardheim, ALEMANIA
E-Mail: peter.nold@eirich.de, ralf.loebe@eirich.de, Internet: www.eirich.com