

Kraft Curing Systems GmbH, 49699 Lindern, Alemania

Tecnología de curado con vapor de combustión directa para el proyecto de tres túneles

■ Daniel Rafter, Kraft Curing Systems GmbH, Alemania

Una vez que Sateba UK recibió el encargo de fabricar y suministrar tres túneles con la técnica a cielo abierto (falso túnel), de los cuales, el más largo consta de más de 5000 elementos, la empresa, radicada en Derbyshire (Reino Unido), se dirigió a Kraft Curing Systems GmbH para obtener una solución a medida. Era necesario reducir el tiempo del ciclo de producción mediante un curado acelerado de los segmentos del túnel prefabricados de hormigón con formas específicas. Un ciclo de curado en dos pasos permite reutilizar inmediatamente los encofrados. Al mismo tiempo, es posible controlar el desarrollo de la resistencia de los elementos a lo largo de un tiempo más prolongado para cumplir los estrictos requisitos de resistencia y calidad.

A la vista de los plazos reducidos, Sateba no podía esperar hasta que estuviera lista la nave de producción a medida de 150 m de largo para iniciar los trabajos de hormigonado. Por este motivo, hasta finales del año 2021 se creó una zona de hormigonado provisional al aire libre con 10 encofrados en fila. Ante el inminente comienzo del invierno, se requería un sistema que redujera el tiempo de los ciclos y mantuviera el rendimiento del hormigonado sin perjudicar a la calidad de

los elementos listos. Kraft consideró que el mejor método con respecto a la efectividad y los costes era utilizar vapor de combustión directa, generado por el Vapor Generator probado de Kraft. Se trata de una mezcla de vapor, productos de combustión y aire caliente: una mezcla muy buena para el curado de los productos de hormigón. Sin salida de humos, prácticamente, toda la energía calorífica generada durante el proceso de combustión en el Vapor Generator se puede utilizar para el curado. Se trata de vapor «verde» para túneles «verdes»..

Vista general del proyecto

Una vez se trasladaron los encofrados a la zona de hormigonado provisional, el equipo de Kraft pudo comenzar con la instalación mecánica y eléctrica. A pesar de que el plazo de entrega establecido era reducido, Kraft pudo suministrar una solución integral para el curado con vapor con un sistema Vapor Generator en contenedor, un sistema de tubos de distribución de vapor entre los encofrados, cerramientos de curado retráctiles y el innovador sistema AutoCure para controlar el ciclo de curado. Los requisitos del cliente final



Una vez construidos los túneles «verdes», se vuelve a rellenar la tierra excavada, y se plantan nuevos árboles y arbustos para integrar el túnel en el paisaje y para fomentar la conexión de los hábitats de las especies salvajes a lo largo del recorrido del túnel.

exigían un ciclo de curado primario para permitir un desencofrado rápido, así como un ciclo de curado secundario para controlar las condiciones de maduración y crear un entorno estable, caliente y húmedo durante un máximo de 48 horas y garantizar una fase de enfriamiento controlada. El ciclo de curado primario pudo llevarse a cabo con lonas de curado suministradas por Kraft, de manera que el elemento, que aún se encuentra dentro del molde, se calienta indirectamente con el calor de condensación latente a través del molde metálico. Los requisitos del ciclo de curado primario estipulaban 50-55 grados centígrados durante unas 12 horas, con un incremento de la temperatura de 10-15 grados centígrados por hora.

Al finalizar el ciclo de curado primario se retira la lona, se separa el molde y se desencofra el elemento. El elemento, que aún está caliente, se puede transportar para continuar el curado en la zona del curado secundario. En este caso, la aplicación de vapor debe tener lugar dentro del cerramiento retráctil de Kraft. Estas construcciones tipo carpa se pueden desplegar al 30 % de su longitud total para permitir colocar los elementos de hormigón con el puente grúa.

El curado secundario requiere unas 40-48 horas, de nuevo en torno a 50-55 grados centígrados. Una fase de enfriamiento controlado sirve para disminuir paulatinamente la temperatura de los elementos a la temperatura ambiente, sin que se produzca un choque térmico. Tras finalizar el proceso de curado secundario, el elemento listo se puede trasladar al almacén.

En la primavera del año 2022, la nueva planta de producción permanente quedó lista. Ya se habían suministrado moldes nuevos y se instalaron en el nuevo edificio. Cuando se pausaron provisionalmente los trabajos de hormigonado y de curado, Kraft regresó a la obra para comenzar el desmontaje de la zona de hormigonado al aire libre y transportar todos los materiales al cercano edificio nuevo. Los conductos de vapor se diseñaron de modo que para cada sección de los tubos existentes ya se había previsto una posición determinada en el edificio nuevo. También los cerramientos de curado se desmontaron parcialmente y se llevaron al edificio. En el marco de esta 2.ª fase de la instalación fue necesaria una ampliación del sistema de curado. Además de los equipos y materiales suministrados en la 1.ª fase, se suministraron otros 10 cerramientos y válvulas de vapor, tuberías y sensores adicionales. Conforme al contrato, Kraft también se encargó del montaje y puso a disposición un jefe de montaje sobre el terreno y unos 10 mecánicos y 2 electricistas para finalizar rápidamente el traslado.

Distribución y control del vapor

Independientemente de si se hormigona en el exterior o en el interior, el mantenimiento de la temperatura desempeña un papel crucial en un sistema de curado controlado. Los ingenieros de Kraft tuvieron que colaborar codo con codo con el fabricante de encofrados y el cliente para garantizar la disposición óptima de la distribución del vapor. Como el vapor está caliente y tiende a subir, deberá dirigirse al cerra-



Técnica de producción y sistemas de automatización para fábricas de prefabricados

- | Elementos para techos y paredes
- | Producción en líneas fijas
- | Mesas basculantes
- | Robot de encofrados multifuncion
- | Instalaciones de carrusel
- | Sistemas de transporte y manipulación
- | Sistemas de distribución de hormigón para todo tipo de aplicaciones
- | Sistemas de compactación
- | Máquinas alisadoras
- | Sistemas de encofrado
- | Moldes para piezas especiales
- | Moldes para garajes – Moldes para células prefabricadas – Moldes especiales
- | Moldes para construcciones estructurales
- | Moldes de pilares – Moldes para cerchas – Moldes para vigas TT



SOMMER Anlagentechnik GmbH
Benzstrasse 1 | D-84051 Altheim/Alemania
Tel: +49 (0) 87 03 / 98 91-0 | Fax: +49 (0) 87 03 / 98 91-25
info@sommer-precast.de | www.sommer-precast.de



Nuestro representante:
Tecnogerma Ibérica, S.L.
ES-45600 Talavera de la Reina
info@tecnogerma.es
www.tecnogerma.es



La zona de hormigonado provisional al aire libre le permitió al cliente cumplir el plazo del proyecto, mientras que esperaba a la finalización de la planta de producción permanente.

miento de curado lo más cerca posible del suelo para poder aprovechar al máximo la energía térmica. En la primera zona de hormigonado se utilizan varios encofrados para los que hubo que encontrar una solución específica en cada caso. No obstante, en general, la idea consistía en utilizar varios tubos de distribución más pequeños para dirigir el vapor a lo largo de todo el molde directamente por debajo de la construcción. Esto también significaba que los tubos no debían obstaculizar el hormigonado.

En el interior del cerramiento de curado tiene lugar la alimentación de vapor a través de tres tubos de vapor flexibles de 2,5 pulgadas cada uno que se pueden colocar en la posición



Uno de los cinco cerramientos retráctiles (carpas) que originalmente se habían suministrado para la zona de hormigonado al aire libre. Las carpas se pudieron desmontar rápidamente y se transportaron a la planta de producción definitiva una vez concluyó su construcción. Otras 10 carpas se suministraron en el marco de la 2.ª fase.

que se desee. Los distribuidores cilíndricos especiales se encargan de que el vapor se distribuya desde el tubo de forma radial y horizontal sobre el suelo.

A pesar de la gran cantidad de tubos que se necesitan para la distribución de vapor en una planta de producción tan grande con más de 40 puntos de consumo diferentes, la red de tuberías no es una característica llamativa dentro de la zona de producción. Debido a la planificación de la nave de producción, la línea central queda ocupada prácticamente al completo por columnas de celosía. Este espacio normalmente muerto era ideal para colocar el tubo colector de vapor principal aislado de 8 pulgadas. Varios pasos para vehículos o puentes de tubos se integraron para que el tráfico pudiera pasar sin obstáculos de una mitad a la otra del edificio. Todas las válvulas reguladoras de vapor se instalaron en el conducto principal, de modo que estuvieran alejadas de la zona de trabajo y de cualquier actividad de la grúa. Los ramales de 6 pulgadas que suministran vapor a las diferentes zonas de calor (cerramiento o encofrado) se colocaron en zanjas para tubos con una cubierta de gravedad. En resumen, todo el sistema de distribución de vapor se diseñó de modo que obstaculizara lo menos posible el trabajo diario de hormigonado. Otra importante reflexión fue necesaria para el aislamiento de los tubos, que es imprescindible para evitar pérdidas de calor que pudieran dar lugar a la formación de condensación y a pérdidas de vapor. Todo el sistema de tuberías está aislado con una capa de lana mineral de 80 mm y revestido con un recubrimiento galvanizado. Las salidas de condensado automáticas evacuan del conducto de vapor el condensado que se pueda formar.

En combinación con una buena construcción de los conductos de vapor, es necesario un método controlado para la alimentación de vapor. Kraft suministró a Sateba UK un completo programa de software para controlar el curado, el sis-



Curado primario en la planta de producción definitiva. Las zanjas de los tubos dejan el suelo libre de obstáculos. El vapor se dirige siempre por el suelo debajo del molde para garantizar un mantenimiento de la temperatura óptimo



Las imágenes muestran cómo la disposición planificada con minuciosidad de los conductos de vapor se integra en la zona de producción para no afectar al hormigonado

tema AutoCure. Este programa y el PLC miden la temperatura del hormigón con un sensor PT100 que se atornilla directamente en el encofrado. El sensor sobresale lo suficiente más allá del encofrado para medir la temperatura directamente en la superficie del hormigón. El correspondiente valor de la temperatura es leído directamente por el PLC que, a su vez, envía una señal de control a las válvulas de vapor automáticas. Con ellas puede comenzar la alimentación de vapor al

encofrado correspondiente o detenerse para regular de este modo la temperatura del hormigón.

El programa AutoCure está diseñado para seguir una curva de curado previamente establecida. El cliente puede indicar los parámetros de tiempo y temperatura para elaborar la curva que desee. En la industria es habitual que la curva esté formada por las siguientes fases: preajuste, calentamiento

COMBiLiFT
LIFTING INNOVATION

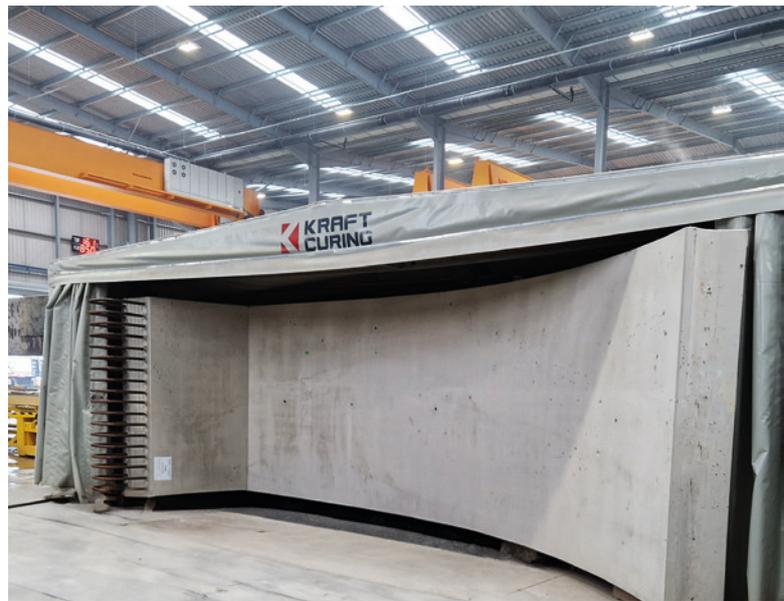
SEGURIDAD
ALMACENAMIENTO
EFICIENCIA

Gestione su hormigón de forma más segura y productiva optimizando su espacio con las soluciones de manipulación de cargas de Combilift.

- Manipulación de productos más segura
- Espacio de producción optimizado
- Capacidad de almacenamiento mejorada
- Mayor productividad
- Beneficios aumentados



Algunos de los cerramientos retráctiles en la zona del curado secundario. Cada cerramiento puede albergar 2 elementos de hormigón.



Las carpas reducen el trabajo y sirven para cubrir rápidamente 2 elementos para el ciclo de curado secundario.

inicial, mantenimiento del calor y enfriamiento controlado. Este método controlado garantiza los mejores resultados sin afectar a la calidad del producto final. Una herramienta útil de Kraft para el aseguramiento de la calidad en curso es el sistema VaporWare. Se trata de un aparato de registro de datos que puede registrar y almacenar en formato PDF cada uno de los ciclos de curado. Se elaboran dos copias del diagrama, uno en un formato PDF seguro para manipular, que normalmente está pensado para el cliente final, y un archivo

Cerramientos retráctiles

Los cerramientos de curado retráctiles (carpas) han demostrado ser la solución ideal para utilizar tanto en el interior como en el exterior y, además, se pueden desmontar y trasladar rápidamente. Aparte de un suelo de hormigón plano, estas construcciones no necesitan ninguna cimentación especial. Las carpas constituyen una opción flexible para el cliente, ya que se pueden desplazar o retirar fácilmente, de modo que la zona de hormigonado se puede adaptar para diferentes proyectos. La inteligente construcción plegada permite cubrir rápidamente 2 elementos en tan solo 5 minutos para prepararlos para el curado con vapor. La construcción de acero galvanizado y el material de PVC con recubrimiento de vinilo garantizan una larga vida útil en un entorno de curado caliente y húmedo.

Generador de vapor en contenedor

La pieza principal del sistema de curado consistía en un generador de vapor de baja presión del modelo KC 80-VS. El generador de vapor de 2400 kWh de gas natural con veloci-

dad variable fue suministrado preinstalado en un contenedor marítimo de 20 pies. Aunque para este proyecto se eligió gas natural como combustible, también puede funcionar con propano. El contenedor sirve como sala de máquinas segura, protegida y sin polvo para el generador y los componentes



La unidad de curado con vapor en contenedor con el sistema de reciclaje de agua.

correspondientes. El contenedor está aislado acústicamente con lana mineral y se ha equipado con iluminación, enchufes, ventilación, instalación de reciclaje de agua y una calefacción eléctrica y un termostato como protección contra las heladas. En el caso de Sateba, el contenedor se instaló fuera de la zona de hormigonado principal; pero algunos clientes lo instalan en el interior. El contenedor tiene orificios por los que se pueden pasar los conductos de gas, agua y vapor, así como los cables eléctricos y se pueden conectar fácilmente. Todos los sistemas se pueden probar minuciosamente en la fábrica de Kraft antes de ser entregados al cliente. ■

MÁS INFORMACIÓN

SATEBA UK =

Sateba UK
Littlewell Lane
Stanton-by-Dale, Ilkeston
Derbyshire, DE7 4QW, Reino Unido
www.sateba.uk

KRAFT CURING

CONCRETE CURING SOLUTIONS - MADE IN GERMANY

Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2
49699 Lindern, Alemania
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com
www.kraftcuring.com



Kraft Curing patrocinó la posibilidad de descarga gratuita del archivo pdf de este artículo para todos los lectores de PHI. Visite la página web www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing o escanee el código QR con su smartphone para acceder directamente a esta página web.



KAPPEMA

Technical Solution

La ola perfecta

KAP-Steel-Wave | KAP-Thermo-Wave
KAP-ISO-Wave | KAP-ZiLO | KAP-SYS

office@kappema.com | www.kappema.com