

## Soluciones Sika en la obra “Desviación de Sant Julià de Lòira, Tramo 3”

J. Ignacio Calvo (Jefe de Túnel, COPISA)  
Gabriel Pardo y Alberto rey (Sika, S.A.U.)

Constructora:  
**UTE DESVIACIÓ SANT JULIA**

Referencia de Obra

### Descripción de los trabajos:

La UTE DESVIACIÓ SANT JULIÀ (COPISA Constructora Pirenaica, S.A., CEVALLS y TP MONTANÉ) se encarga de los trabajos de la obra de la Desviación de Sant Julià de Lòira, Tramo 3, que comprende desde el enlace con la avenida Francesc Cairat a la zona de la Plaza Lauredià hasta la boca norte del Túnel de la Tapia, Andorra la Vella, situadas en el Principado de Andorra, ejecutadas para el Gobierno de Andorra.

Las obras se comenzaron en abril de 2009 y se han finalizado en diciembre de 2011.

Esta variante incluye la excavación del **Túnel de Tapia** de tres carriles (el central de sentido reversible) con una longitud de 512 m que supondrá una mejora importante para el tráfico en el paso fronterizo sur del Principado de Andorra.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



# Referencia de Obra



Foto1.- Detalles del emboquille sur del Túnel de Tapia

La ejecución del túnel se ha realizado mediante método de avance y destroza (método tradicional), con voladuras en núcleo urbano y control sismográfico.

Asimismo, se ha ejecutado una galería de emergencia de 86 m y una longitud de túneles artificiales de 20 y 4 m en los emboquilles sur y norte.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



Las obras se han completado con las instalaciones de servicios (saneamiento, abastecimiento e iluminación y telecomunicaciones) así como los acabados para su puesta en servicio (pavimentación, señalización y balizamiento).

Las mediciones principales del Túnel de Tapia son:

- Excavación en túnel en avance a media sección  
36.780,67 m<sup>3</sup>
- Excavación de túnel a media sección  
28.692,79 m<sup>3</sup>
- Excavación en las galerías a sección completa  
1.339,34 m<sup>3</sup>
- Hormigón proyectado Vía Húmeda 35 MPa  
2.915,39 m<sup>3</sup>
- Bulón de acero corrugado 500 S de d=25  
29.342,00 ml
- Cercha deslizante THN 29 kg/m en sostenimiento  
1.345,00 ml
- Cercha de perfil HEB 180 en sostenimiento  
1.029,86 ml
- Encofrado visto carro autoportante para revestimiento  
12.200,96 m<sup>2</sup>
- Encofrado visto carro autoportante para new-jersey  
1.024,00 ml
- Hormigón HM 30 zapata – muro de túnel  
1.761,23 m<sup>3</sup>
- Hormigón HM 30 new-jersey  
402,00 m<sup>3</sup>

Referencia de Obra



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP

# Referencia de Obra

- Hormigón HM 30 revestimiento definitivo túnel  
3.691,15 m<sup>3</sup>
- Lámina PVC 2 mm de espesor  
16.424,80 m<sup>2</sup>
- Geotextil no tejido 500 g/m<sup>2</sup>  
16.424,80 m<sup>2</sup>
- Micro pilotes de acero d=73 mm y e=10 mm en bocas  
2.100,00 ml



Foto2.- Proyección de hormigón en el frente de avance del Túnel de Tapia



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Tel. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:





### Soluciones Sika para la obra:

**Sika, S.A.U.** ha suministrado una serie de productos y soluciones a la obra y en para la fabricación y puesta en obra del **hormigón proyectado** de altas prestaciones (35 MPa) incluido en el Pliego del Proyecto:

- Sigunita L 53 AFS
- Sigunita L 63 AFS
- Sigunita L 22 R
- SikaTell 100
- Sika ViscoCrete 5980
- Sika ViscoCrete 5920
- SikaTard 930
- Sika Rapid 1
- Sika Separol 32 V Vegetal

Para ello, se ha colaborado con la empresa que suministra el hormigón a la obra **FORMO, S.A.**, optimizando las formulaciones del hormigón proyectado para obtener la mejor solución prestaciones/coste.

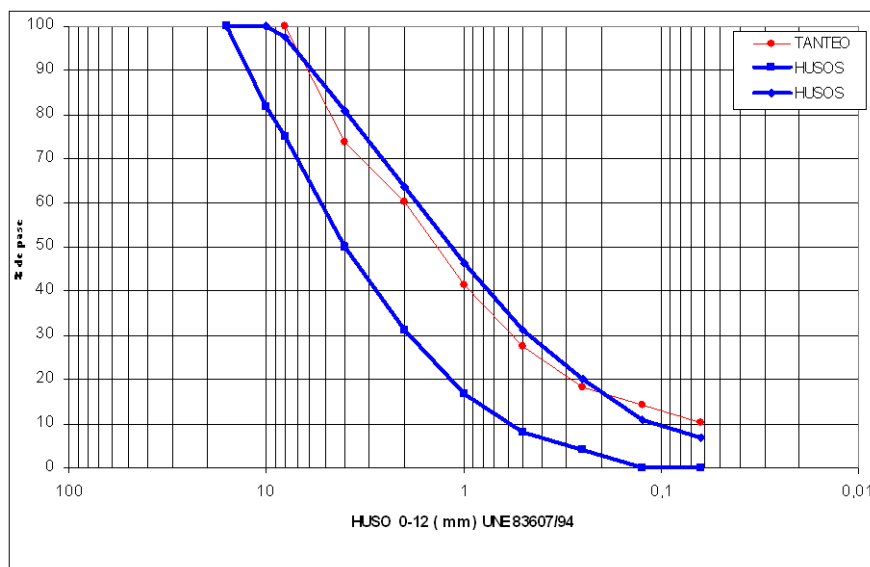


Figura 1.- Detalle de la curva granulométrica de la mezcla de hormigón proyectado



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España

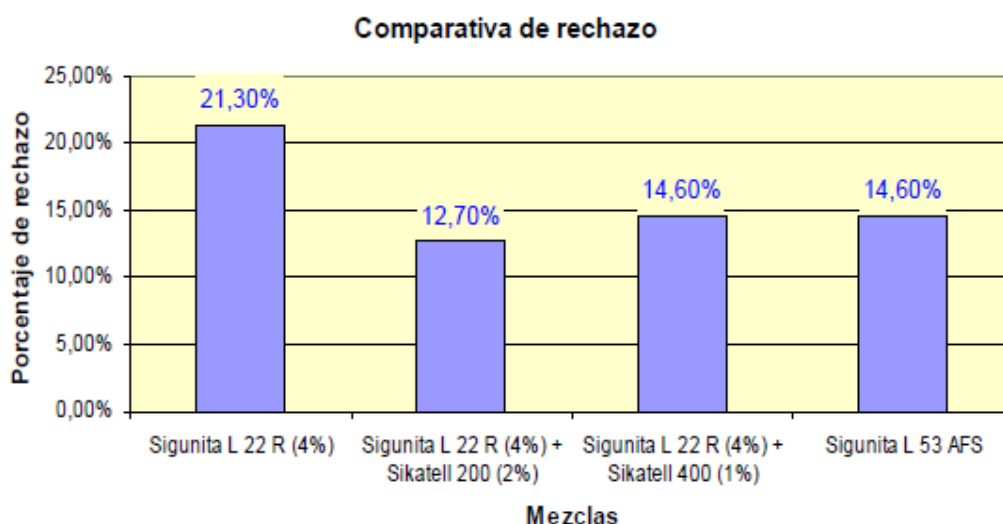


SikaESP

Los acelerantes libres de álcali (AF) de altas prestaciones como son la **Sigunita L 53 AFS** o la **Sigunita L 63 AFS** afectan en menor medida a las resistencias a 28 días del hormigón proyectado (minoran de media entre un 5% y un 8%), permitiendo así reducir la cantidad de cemento mínimo de la mezcla y alcanzar las mismas resistencias finales incluso a bajas dosificaciones 3-4%.

De esta forma, se trabaja en unas condiciones más seguras y respetuosas con el Medio Ambiente y la Seguridad y Salud de los trabajadores, y al mismo tiempo se obtiene un producto acabado de altas prestaciones y mayor durabilidad que en el caso de emplear los tradicionales acelerantes de base aluminato.

Recientemente se está demostrando que el uso de estos aditivos (AF) suponen un ahorro importante al reducir sensiblemente la cantidad de rebote en comparación con los acelerantes de base aluminato.



**Figura 2.- Medidas de rebote con diferentes mezclas y acelerantes**

Las adiciones de sílice líquida **SikaTell 100/200** mejoran las características mecánicas del hormigón colocado, reducen la permeabilidad y aportan tixotropía al hormigón fresco reduciendo aún más el rebote durante la proyección. De esta forma, se incide nuevamente en la durabilidad del material empleado en el sostenimiento de la labor subterránea siendo habitual en los Pliegos Constructivos de este tipo de Proyectos.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP

Por su parte, el aditivo **Sika ViscoCrete 5980** es un superplastificante de base policarboxilato de alta reducción de agua especialmente diseñado para la elaboración de hormigones proyectados de altas prestaciones.

Finalmente, el aditivo retardante **SikaTard 930** permite ajustar el tiempo abierto de la mezcla a los ciclos de excavación, manteniendo la bombeabilidad de la misma el tiempo requerido.

Atendiendo al volumen, la segunda partida de hormigón ha sido el **revestimiento del túnel** y el hormigón de zapata – muro.

Las crecientes exigencias técnicas de Proyecto para los hormigones de revestimiento de túneles, junto con el objetivo permanente de optimización económica de cada obra, nos han conducido al desarrollo de nuevos productos, y a la implementación de sistemas de ensayo y control, capaces de simular de forma adecuada las condiciones de fraguado de los hormigones en una puesta de este tipo.

Dadas las dimensiones de las probetas cilíndricas de hormigón, y el volumen alojado en el carro de encofrado, existe un factor de escala, fundamentalmente relacionado con el calor generado en la reacción de hidratación del cemento en el fraguado en ambos casos.

Este *factor de escala*, dificulta la extrapolación directa entre las Resistencias a Compresión Simple obtenidas en el control de calidad de la obra de forma convencional (rotura de probetas cilíndricas almacenadas según las prescripciones de la EHE), y las esperables en el carro de encofrado.

Este punto se convierte en fundamental en las fases iniciales de diseño de estos hormigones, influyendo diversos factores:

- Resistencia Característica de Proyecto
- Resistencia mínima proyectada para mover el carro
- Características de la planta de hormigón
- Distancia de transporte desde la planta de hormigón hasta el túnel
- Tipo y cantidad de cemento
- Tipología, naturaleza, y cantidad de los áridos empleados
- Relación Agua/Cemento (A/C)



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP

- Temperaturas de los diferentes componentes del hormigón y de la mezcla lista para su uso ( $T_0$ )
- Condiciones geológicas del túnel (Ej. Monteras de escasa potencia con filtraciones importantes de agua de escorrentía con el consiguiente enfriamiento del hormigón de la clave)

Los hormigones de revestimiento son generalmente bombeables, manteniendo su trabajabilidad durante un plazo de tiempo adecuado, en función de las distancias (tiempos) requeridas en cada caso, al tiempo, que deben cumplir con las resistencias exigidas.

Por todo ello, Sika, S.A.U. ha comprometido sus esfuerzos de I+D+i, trasladando las experiencias reales de las numerosas obras y pruebas previas realizadas, para poner en el mercado productos capaces de garantizar las exigencias actuales.

Asimismo, Sika, S.A.U. lleva tiempo incorporando sistemas específicos de ensayo en las fases de diseño de estos hormigones:

- Sistema Sika Adiabático Seco
- Sistema Sika Adiabático de Inmersión



Foto 3.- Detalle del Sistema Sika Adiabático de Inmersión



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP



La metodología propuesta para la realización de los ensayos específicos previos durante la fase de diseño de los hormigones de revestimiento comprendería:

- Elección del perfil de calentamiento de las pruebas, para simular convenientemente las condiciones de fraguado en el carro
- Simulación del perfil designado con sistemas apropiados, para obtener valores representativos
- Control de la trabajabilidad, de las resistencias a edades tempranas, y de las resistencias a 28 días del hormigón

El primero de los puntos, es especialmente crítico, ya que condiciona los resultados de las pruebas de diseño. Por este motivo, se han desarrollado los sistemas de simulación mencionados, que permiten trabajar del lado de la seguridad, con una aproximación adecuada a la realidad del problema.

En función de la información recopilada, se puede partir de:

- 1.- Un perfil teórico de temperaturas/tiempo
- 2.- Un perfil de temperaturas/tiempo, obtenido de registros directos en muretes del túnel o en puestas de ensayo
- 3.- Un perfil real de temperaturas/tiempo, registrado en carros de labores anteriores con el mismo hormigón

La verosimilitud de los resultados, dependerá de la extensión del muestreo, y del perfil de partida. Lógicamente, un perfil teórico puede diferir de la realidad más que un registro real, siendo recomendable repetir éstos varias veces, para reducir las dispersiones de datos.

Sika, S.A.U. dispone de equipos de registro de alta precisión, capaces de almacenar las temperaturas del hormigón, introduciendo sensores recuperables en el mismo.

Posteriormente, se descargan los datos registrados al PC con el Software del equipo, y se representan gráficamente para su mejor interpretación.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP



Foto 4.- Sonda de temperatura colocada en el murete de un túnel

En la gráfica que se muestra a continuación se representa la temperatura del hormigón en un murete y la temperatura ambiente en el túnel.

La zona de interés corresponde a los datos medidos entre las 12:00 h y las 20:00 h, apreciándose el incremento de temperatura en el hormigón.

No obstante, parece indicado reseñar, que los registros de temperatura en este tipo de puestas pueden alejarse de forma importante de las temperaturas reales del carro.

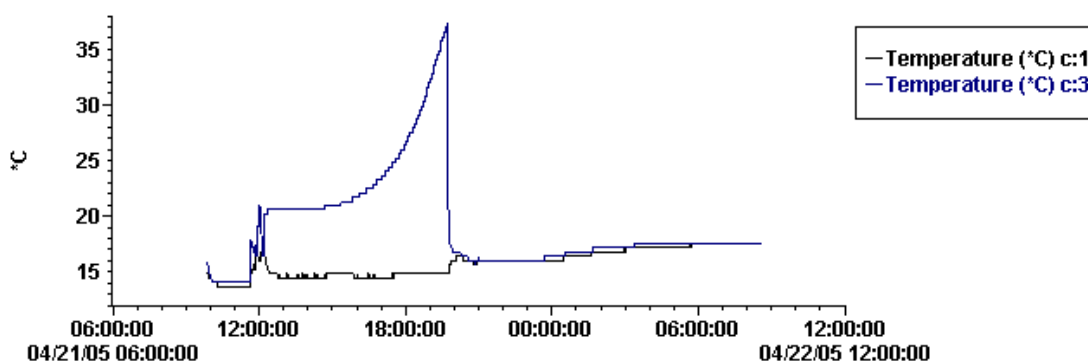


Figura 3.- Registro de temperatura del hormigón en un mrete

La causa de esta divergencia, es fundamentalmente la relación entre la superficie expuesta del murete (toda la superficie superior) y el volumen total de hormigón.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



Las corrientes que se generan en el interior de los túneles, especialmente en épocas frías, pueden disipar importantes cantidades de calor, enfriando la masa de hormigón y generando registros engañosos de la temperatura.

El siguiente paso, corresponde a la simulación de las condiciones de fraguado del hormigón. Según se ha comentado anteriormente, disponemos de dos sistemas diferentes de trabajo para las pruebas de diseño, ampliamente ensayados.

Por un lado, el Sistema Sika Adiabático Seco, consistente en un cajón sellado térmicamente con capacidad para almacenar seis moldes de probetas. Este sistema permite la colocación de una resistencia eléctrica en el interior para aportar calor cuando se estime necesario.

Dado que no existe ningún tipo de normativa en la que se contemple un sistema de simulación para hormigones de altas resistencias iniciales, como pueden ser los casos de los hormigones de revestimientos en túneles, Sika en su constante preocupación por mejorar los sistemas de medición y control ha desarrollado el Sistema de Cajón Adiabático de Inmersión.

Este sistema fundamentalmente persigue conseguir que las probetas cilíndricas de hormigón que se van a romper a compresión a temprana edad (entre las 6 y 12 horas de su fabricación) se encuentren en las mismas condiciones que el hormigón estructural de referencia.

La metodología de las pruebas consiste en mantener las probetas de hormigón en todo momento a la misma temperatura que el hormigón embebido dentro del carro de encofrado.

Para ello, se debe introducir una sonda termopar en el último hormigón bombeado en la estructura, la cual se traslada a una caja informatizada que a su vez pone en marcha una resistencia que segundo a segundo va calentando el baño de agua en el cual se sumergen las probetas de hormigón.

Así, a medida que aumenta la temperatura del hormigón, la caja informatizada pone automáticamente en marcha una resistencia sumergida en el cajón adiabático que calienta dicha agua en poco tiempo hasta alcanzar la temperatura de referencia.



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)

Telf. 916572375 Fax 916621938

[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



De esta forma, se consigue tener en todo momento en las mismas condiciones de temperatura las probetas cilíndricas de hormigón y la estructura de referencia, en nuestro caso el hormigón de revestimiento del túnel.

Posteriormente se extraen las probetas, se desmoldan y se rompen en una prensa de hormigones convencional para obtener la Resistencia a Compresión Simple a la edad correspondiente.

Mediante la utilización de este sistema se dispone de una información real, que facilita el posterior control de calidad y la toma de decisiones relativa al movimiento del carro de encofrado.

## Diseño y ensayo del hormigón de revestimiento

Unas semanas antes del inicio del hormigonado del carro de revestimiento, se realizaron las correspondientes pruebas en la planta suministradora de la obra, FORMO S.A.

Para ello, se parte de dos dosificaciones con diferentes cantidades de cemento y aditivo superplastificante.

### PRUEBA 1

|                            | m <sup>3</sup> |
|----------------------------|----------------|
| Cemento I 52,5 N           | 350 kg         |
| Arena Lavada               | 525 kg         |
| Arena Seca                 | 540 kg         |
| Gravilla 6-12              | 860 kg         |
| Sika Viscocrete 5920 (1%)  | 3,5 kg         |
| Sika Rapid 1 (1,5%)        | 5,2 kg         |
| Agua (a/c= 0,37)           | 130 kg         |
| Cono obtenido en obra (cm) | 19             |

- Resistencia mínima para mover el carro: 12,5 MPa
- Hormigón bombeable
- Edad deseada para mover el carro 10 horas



**Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España

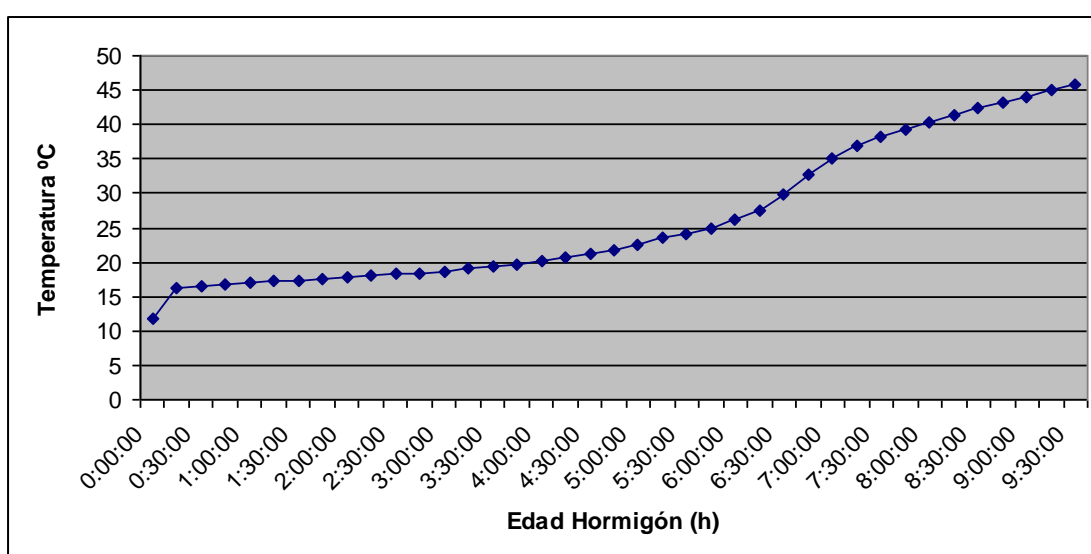


SikaESP

Entre las diferentes alternativas, se ha optado por rellenar un metro cúbico de hormigón con la dosificación propuesta para emplearlo como referencia de temperatura.

De esta forma, la sonda que regula la temperatura del baño donde se alojan las probetas, se ha colocado mediante una cánula en el centro del bloque de hormigón de referencia, tomando de este la temperatura para simular así el curado en el carro de encofrado.

A continuación, se representa la curva Temperatura/Tiempo registrada en el sistema de control durante el ensayo.



Asimismo, en la tabla resume las roturas a compresión simple obtenidas en los ensayos del laboratorio con esta primera prueba.

|   | Tiempo   | Probeta |
|---|----------|---------|
| Resistencia Compresión Simple (Kp/cm <sup>2</sup> ) | 8 horas  | 211     |
|   | 9 horas  | 263     |
|   | 10 horas | 310     |

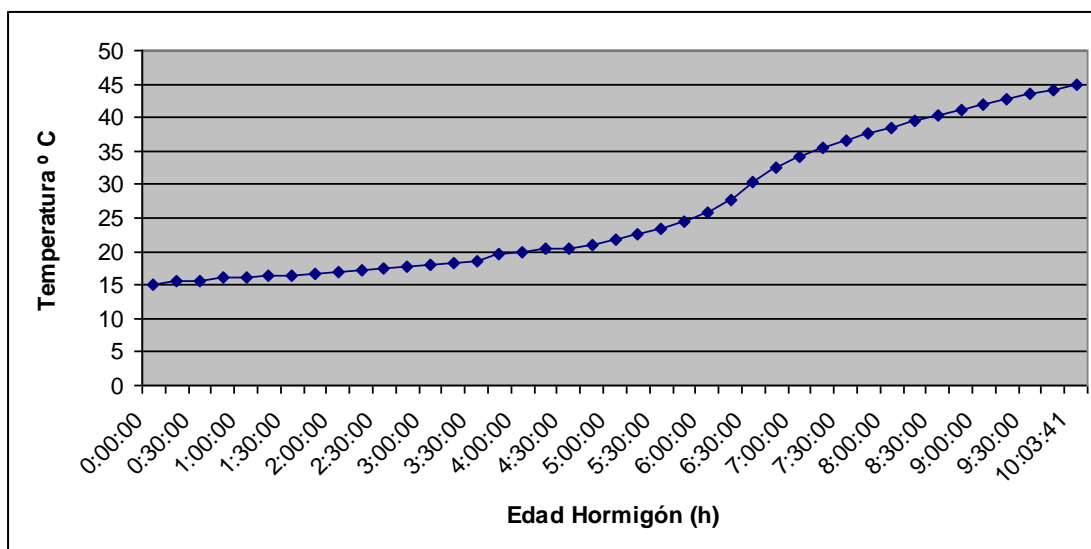


## PRUEBA 2

|                             | m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|----------------|
| Cemento I 52,5 N            | 330 kg         |
| Arena Lavada                | 565 kg         |
| Arena Seca                  | 540 kg         |
| Gravilla 6-12               | 860 kg         |
| Sika Viscocrete 5920 (1,2%) | 3,9 kg         |
| Sika Rapid 1 (1,5%)         | 4,9 kg         |
| Agua (a/c= 0,36)            | 120 kg         |
| Cono obtenido en obra (cm)  | 19             |

En este caso, Para alcanzar las especificaciones del hormigón de revestimiento se ha empleado el aditivo superplastificante Sika ViscoCrete 5920 a una dosificación del 1,2 % s.p.c. junto con un acelerante de endurecimiento (Sika Rapid 1) al 1,5 %.

Esta sería su correspondiente curva Temperatura/Tiempo registrada en el sistema de control durante el ensayo y la tabla con las resistencias.



|  | Tiempo   | Probeta |
|--|----------|---------|
| Resistencia<br>Compresión<br>Simple<br>(kp/cm <sup>2</sup> ) | 8 horas  | 200     |
|  | 9 horas  | 249     |
|  | 10 horas | 301     |

### Sika, S.A.U.

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:



@SikaSpain



Sika España



SikaESP



# Referencia de Obra

## **Sika**

*Suministrador líder de productos químicos especializados a nivel mundial. Desarrolla, fabrica y comercializa sistemas y soluciones específicas para la construcción, en edificación y obra civil - en los campos de la reparación y protección del hormigón, el sellado de juntas, la impermeabilización estructural y el pegado rígido y elástico de distintos elementos - y en la industria, en los sectores de transporte, automoción, marina y electrodomésticos y equipos.*

*La gama de productos Sika incluye aditivos para hormigón de alta calidad, morteros especiales, selladores y adhesivos, materiales hidrófugos, sistemas de refuerzo estructural, pavimentos industriales y membranas impermeabilizantes.*

*120 compañías, filiales en 76 países y aproximadamente 15.300 empleados en todo el mundo, ponen en contacto a Sika con sus clientes y garantizan el éxito en todas sus relaciones comerciales.*

*En 2010, la multinacional ha celebrado sus primeros cien años como empresa.*



## **Sika, S.A.U.**

Ctra. de Fuencarral, 72. 28108 – Alcobendas (Madrid)  
Telf. 916572375 Fax 916621938  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

Síguenos en:

