

MODULO DE INTEGRACION DE LAS CONDICIONES METEREOLÓGICAS DE FABRICACION DEL HORMIGON EN EL SISTEMA CONEX[®].

COMPONENTES ADICIONALES DEL SISTEMA CONEX VERSION 7.8



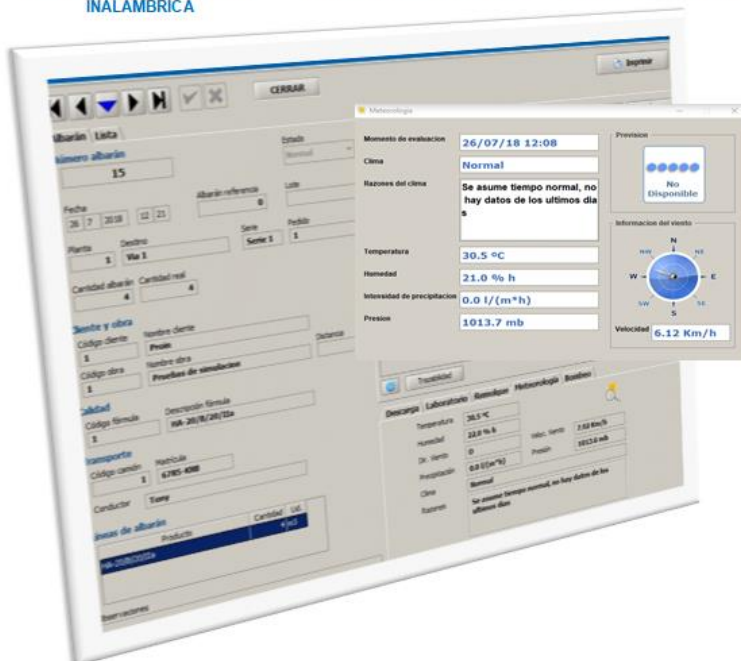
ESTACION METEREOLÓGICA INALÁMBRICA



SERVIDOR METEREOLÓGICO



TERMOMETRO HORMIGON



1.- OBJETIVO.

Con el fin de **facilitar al fabricante de hormigón preparado en su operativa diaria y dada la problemática del suministro en condiciones climáticas extremas**, PROIN ha desarrollado una nueva funcionalidad con la conexión al equipo CONEX de una estación meteorológica **instalada en la planta de fabricación de hormigón** y un programa informático que registra los valores de las medidas obtenidas y las evalúa en relación con su influencia en el hormigón.

Temperatura interior	Humedad relativa	Velocidad del viento	Fecha de sistema
Temperatura exterior	Humedad exterior	Ráfagas viento	Lluvia ultima hora
Lluvia ultimo día	Radiación solar	Presión atmosférica relativa	

De forma que quedan registrados estos datos para cada camión de hormigón suministrado asociado a su albarán así como la temperatura del hormigón en el momento de la descarga.

Esta información está disponible para su análisis, interpretación y correlación con los resultados obtenidos en el control de calidad del hormigón, y si se considera conveniente, ***esta puede ser incorporada al albarán de entrega (los datos remarcados anteriormente) que firma el cliente para su información y ante posibles reclamaciones de calidad, que tengan relación con estos parámetros, se dispone de argumentos para su defensa.***

2.- JUSTIFICACION TECNICA.

2.1.- El hormigón en condiciones climáticas extremas.

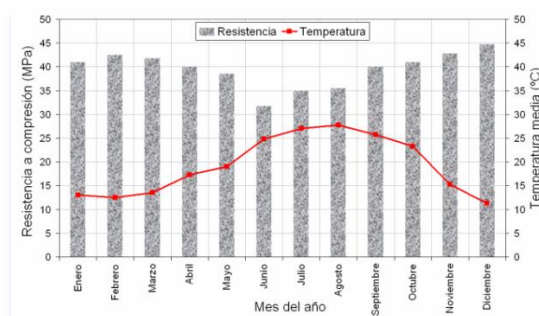
La fabricación de hormigones con cemento Portland, **en condiciones climáticas extremas**, ya sean de altas o bajas temperaturas, **influye de manera directa en las características del hormigón para cualquier etapa del mismo: amasado, transporte, puesta en obra, curado, así como en las propiedades físicas y mecánicas. Esto constituye una preocupación tanto para los fabricantes como para los usuarios de dichos hormigones por las evidentes consecuencias negativas que esto tiene sobre los aspectos técnicos y económicos.**

Las prestaciones del hormigón que son afectadas por los factores climatológicos son principalmente, **la trabajabilidad y la resistencia a compresión.**

Las condiciones climáticas actúan directamente sobre los procesos de hidratación, fraguado, endurecimiento y desarrollo de resistencia del hormigón. En este sentido se puede verificar que la temperatura bajo la cual se llevan a cabo estos procesos, es un factor de influencia en el desarrollo de la microestructura del hormigón mediante la aceleración o retardo de estos procesos.

La trabajabilidad y la resistencia del hormigón están también influenciadas por las propiedades de los áridos (componente mayoritario en la composición del hormigón), ya que son susceptibles de variaciones en función de la temperatura. En este sentido, la temperatura actúa sobre la velocidad de absorción y el rozamiento interno de los áridos. En el hormigón tiene un efecto sobre su comportamiento en estado fresco y endurecido, esto representa un **coste adicional por consumo de cemento y posibles reclamaciones de calidad.**

En el siguiente grafico se muestran una serie de datos estadísticos de resistencia a compresión a 28 días de hormigones H-30 N/mm² de hormigones suministrados en el Área Metropolitana de Barcelona, muestra la temperatura media y la resistencia media de los hormigones en cada uno de los intervalos analizados.



Cuando el hormigón se mezcla, se transporta y se pone en obra bajo condiciones de elevada o baja temperatura ambiental, alta radiación solar, baja humedad relativa y viento apreciable, resulta esencial tomar en consideración los efectos que estos factores climáticos ejercen sobre las propiedades del hormigón. Naturalmente, para minimizar o incluso eliminar la incidencia negativa que todos estos factores pueden producir en las prestaciones del material, es razonable pensar en la necesidad de conocer y comprender la forma en que estos actúan y **para ello es preciso medir estas variables. (Lo que no se mide no es controlable).**

Algunos de los problemas específicos en relación al hormigonado en climas cálidos es la alta temperatura ambiental que tiene como consecuencia una mayor demanda de agua del hormigón y un incremento en la temperatura de dicho hormigón en estado fresco. El resultado es un incremento en la velocidad de pérdida de fluidez y en una más rápida hidratación del cemento, lo cual conduce a un aceleramiento en el fraguado y en una menor resistencia del hormigón. **Esto implica la frecuente adición de agua al hormigón en obra con el objeto de restablecer la trabajabilidad original.**

El cemento Portland mezclado con agua libera calor por hidratación, es el resultado de la reacción química exotérmica entre el cemento y el agua, incrementando la temperatura del hormigón. La mayor velocidad de liberación de calor ocurre dentro de las primeras 24 horas y una gran cantidad de calor se desarrolla durante los primeros 3 días. **El efecto conjunto de las condiciones térmicas ambientales y el calor de hidratación del cemento en el hormigón en climas cálidos agrava las consecuencias perjudiciales sobre la resistencia mecánica final del hormigón, principalmente la resistencia a compresión.**

En resumen, los efectos de las temperaturas extremas sobre las propiedades del hormigón:

Propiedades afectadas en estado fresco:

1. Pérdida de trabajabilidad.
2. Tiempos de fraguado.
3. Retracción plástica y fisuración.
4. Congelación del agua.

Propiedades afectadas en estado endurecido:

1. Resistencia mecánica.
2. Durabilidad.
 - Permeabilidad.
 - Ataque por sulfatos.
 - Reacción álcali-árido.

2.2.- Control del hormigón a través de las probetas.

Una cuestión de gran relevancia es el control del hormigón en obra a través de las probetas de ensayo en tiempo frío y caluroso. Las condiciones atmosféricas reinantes (elevadas o bajas temperaturas, bajas humedades relativas y vientos secos) son mucho más perjudiciales para las probetas por su pequeño tamaño. **El hecho de dejar por tanto las probetas en moldes directamente expuestas a la acción del viento, temperaturas extremas o del sol introducirán importantes variaciones en los resultados de resistencia obtenidos y no serán en absoluto representativos del hormigón suministrado. Por lo que es imprescindible la aplicación estricta de la normativa de toma de las probetas de control, curado en obra, conservación y transporte al laboratorio, ya que la consecuencia será que la resistencia obtenida se verá reducida y por lo tanto, se ocasionarán reclamaciones de calidad.**

- Según la norma UNE-EN 12390-2. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia. Curado de las probetas de ensayo. **Las probetas se mantendrán en el molde al menos 16 horas, pero no más de 3 días, protegidas de impactos, vibraciones y deshidratación, a una temperatura de 20 °C ± 5 °C (25 °C ± 5 °C en climas cálidos).**

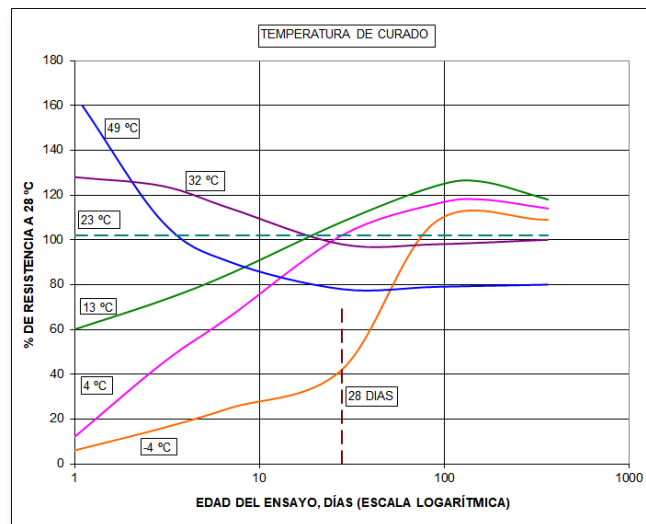
- Según el Art. 86.3.2. Ensayos de resistencia del hormigón EH-08. Una vez fabricadas las probetas, se mantendrán en el molde, convenientemente protegidas, durante al menos 16 horas y nunca más de tres días. En este período, la temperatura del aire alrededor de las probetas deberá estar comprendida entre los límites de la Tabla 86.3.2.b. **En el caso de que puedan producirse en obra otras condiciones ambientales, el Constructor deberá habilitar un recinto en el que puedan mantenerse las referidas condiciones.**

Tabla 86.3.2.b

Rango de temperatura	f_{ct} (N/mm ²)	Período máximo de permanencia de las probetas en la obra
15 °C–30 °C	< 35	72 horas
	≥ 35	24 horas
15 °C–35 °C	Cualquiera	24 horas

En muchas obras, los moldes que contienen a las probetas de hormigón se encuentran directamente bajo los rayos del sol, lo cual hace que en ocasiones la superficie del hormigón llegue a alcanzar los 38 o 40 °C, aumentados por el propio calor generado por el hormigón debido a las reacciones exotérmicas. Por otro lado, **¿qué pasa cuando las probetas son moldeadas un viernes o un día antes de festivo?**, éstas serán expuestas a la radiación solar durante 2 o 3 días antes de que sean transportadas al laboratorio para ser curadas, lo que tendrá consecuencias sobre los resultados de resistencia.

Generalmente, debido al incremento en la velocidad de hidratación, la temperatura acelera la ganancia de resistencia a edades tempranas, sin embargo, la resistencia a edades posteriores será perjudicada, como se puede apreciar en grafico siguiente. Debido a que bajo temperaturas elevadas la porosidad de la pasta de cemento es mayor y menos uniforme. Ver gráfico siguiente:



Con la utilización de esta nueva funcionalidad que se propone, se dispondrá de alertas para realizar seguimientos y comprobar las condiciones ambientales a las que están expuestas las probetas en la obra realizadas por los laboratorios de control de recepción.

2.3.- Hormigón en tiempo caluroso.

Definición.

El clima cálido es definido por el **Comité 305 del ACI** como “una combinación de las condiciones que tienden a deteriorar la calidad del hormigón en estado fresco o endurecido, mediante la aceleración de la velocidad de pérdida de humedad y la velocidad de hidratación del cemento”.

Las condiciones son:

➤ **Alta temperatura ambiental.**

Si la temperatura ambiente es superior a 30 °C o hay un viento excesivo, se debe de suspender el hormigonado, salvo que se adopten medidas especiales en la fabricación y puesta en obra.

➤ **Alta temperatura del hormigón.**

Las temperaturas elevadas del hormigón fresco aceleran el fraguado, aumentan la velocidad de hidratación y la exigencia de agua, y conducen a una resistencia final más baja. Además, se dificultan las condiciones de puesta en obra y aumenta la aparición de fisuras de retracción plástica.

En consecuencia, debe tratarse de asegurar que la temperatura del hormigón en el momento del vertido sea inferior a 30 °C en el caso de estructuras normales, y menor que 15 °C en el caso de grandes masas de hormigón.

➤ **Baja humedad relativa y velocidad del viento.**

La velocidad del viento afecta a las propiedades del hormigón en estado fresco, bajo el mecanismo principal de la evaporación del agua del hormigón. Posteriormente este efecto tiene consecuencias sobre las propiedades del hormigón en estado endurecido, principalmente sobre la resistencia mecánica y la durabilidad, ya que la hidratación del cemento no es completa, **lo que disminuye las propiedades mecánicas y la impermeabilidad.**

Según al tabla 71.5.3.2. (EHE-08). Se recomienda tomar medidas especiales para evitar retracciones plásticas cuando exista peligro de **evaporaciones superficiales superiores a 1 kg/m²/h**, lo que puede producirse cuando concurren circunstancias meteorológicas indicadas:

Tabla 71.5.3.2
Condiciones atmosféricas para riesgo de retracción plástica

Temperatura atmosférica (°C)	Velocidad del viento (km/h)	Humedad relativa
40 °C	10	≤ 35%
	25	≤ 45%
	40	≤ 55%
35 °C	25	≤ 25%
	40	≤ 35%

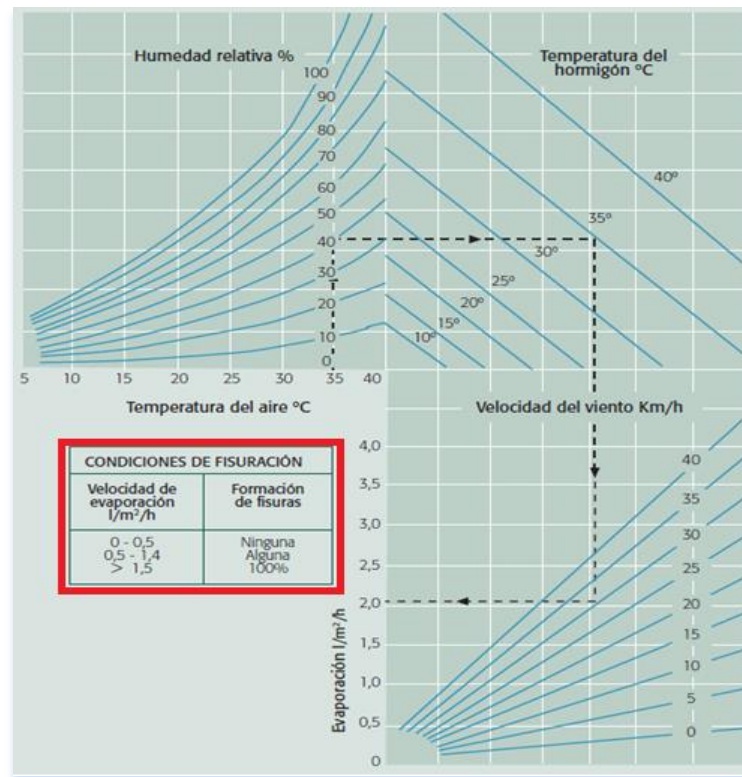
Otro criterio de cálculo de la evaporación superficial del hormigón incorporado al sistema Conex, en función de la temperatura del hormigón, la humedad relativa ambiental y la velocidad del viento es aplicando el nomograma de Menzel. De él se pueden deducir diversas combinaciones críticas de las que se obtendrían los valores de referencia de las diferentes condiciones vinculadas a la temperatura propia del hormigón.

Ejemplo:

- Temperatura del aire = 35°C
- Humedad relativa = 42%
- Temperatura del hormigón = 35°C
- Velocidad del viento = 30 km/h

Cantidad de agua evaporada en función de la temperatura del hormigón, la humedad relativa ambiental y la velocidad del viento				
Temperatura del Aire	Temperatura del hormigón	Humedad Relativa	Velocidad de Viento	Evaporación de Agua
°C	°C	%	km/h	kg /m ² /hr
35	35	42	30	2,02

Aplicando al gráfico a las variables anteriores se comprueba que la evaporación superficial es del orden de 2,02 kg/m²/h por lo que existe riesgo de que se produzcan retracciones plásticas al ser superior a 1 kg/m²/h.



Si se dispone de la estación meteorológica y del dato de la temperatura del hormigón, se completa la información necesaria para poder aplicar este criterio, el sistema Conex calcula directamente la evaporación superficial y evalúa el riesgo de retracción plástica.

➤ **Radiación solar.**

La radiación solar es uno de los factores climatológicos que muestra una gran influencia sobre la respuesta térmica de las estructuras de hormigón. Cualquier material expuesto a la intemperie en horas diurnas, gana energía calorífica como resultado de la radiación solar que incide sobre su superficie. Durante la noche, tiene lugar una pérdida de la energía calorífica almacenada por el material debido a la radiación emitida por éste hacia los alrededores.

Este fenómeno puede afectar a los áridos cuando se almacenan a la intemperie y al mismo tiempo, al hormigón en estado fresco y en edades muy tempranas. Estos materiales se comportan como “cuerpos grises” ya que absorben parte de la radiación solar incidente. Así, la cantidad de energía calorífica absorbida por un material depende de su coeficiente de absorción solar.

La absorción solar de superficies es el fenómeno natural a través del cual los materiales capturan los fotones que se desprenden de la radiación solar y lo transforma en calor. El coeficiente de absorción de una superficie se expresa por un número incluido entre 0 y el 1, es el porcentaje de la energía radiante incidente que es absorbida por esta superficie. El resto de la radiación solar se transmite, bien reflejada o difuminada (según la transparencia del material). Valores orientativos:

	Absortividad
Hormigón	0,85
Arena	0,76
Grava	0,29

La temperatura de los áridos debe ser controlada para evitar la radiación solar directa sobre ellos. La temperatura de los áridos expuestos en la planta directamente al sol se incrementa aproximadamente 4 a 5 °C comparada con la de los áridos a la sombra. Su temperatura ocasiona el efecto más pronunciado sobre la temperatura del hormigón. Es por eso que muchas veces se recomiendan algunas acciones como poner a la sombra y/o rociar con agua los acopios de áridos inmediatamente antes de utilizarlos.

2.4.- Hormigonado en tiempo frío.

Art. 71.5.3.1 EHE-08. La temperatura de la masa de hormigón, en el momento de verterla en el molde o encofrado, no será inferior a 5 °C y se prohíbe verter el hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, etc.) cuya temperatura sea inferior a cero grados centígrados.

En general, se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que, dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes, pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los cero grados centígrados.

En los casos en que, por absoluta necesidad, se hormigone en tiempo de heladas, se adoptarán las medidas necesarias para garantizar que, durante el fraguado y primer endurecimiento de hormigón, no se producirán deterioros locales en los elementos correspondientes, ni mermas permanentes apreciables de las características resistentes del material.

En la fabricación del hormigón se pueden emplear aditivos aceleradores de fraguado o aceleradores de endurecimiento o, en general, de cualquier producto anticongelante específico para el hormigón, a solicitud de la obra.

En el apartado de comentarios del artículo anterior, se entiende por tiempo frío el período durante el cual existe, durante más de tres días, las siguientes condiciones:

- La temperatura media diaria del aire es inferior a 5 °C.
- La temperatura del aire no supera los 10 °C durante más de la mitad del día.

La hidratación de la pasta de cemento se retrasa con las bajas temperaturas. Además, la helada puede dañar de manera permanente al hormigón poco endurecido si el agua contenida en los poros se hiela y rompe el material. En consecuencia, deben adoptarse las medidas necesarias para asegurar que la velocidad de endurecimiento es la adecuada y que no se producen daños por helada.

Si se dispone de la estación meteorológica y la temperatura del hormigón, el sistema Conex comprobará el cumplimiento de las condiciones anteriormente especificadas, y si se incorpora al sistema un servidor de datos, la información meteorológica siempre estará disponible aunque el ordenador de planta este apagado y se podrá evaluar las condiciones de tiempo frío especificadas.

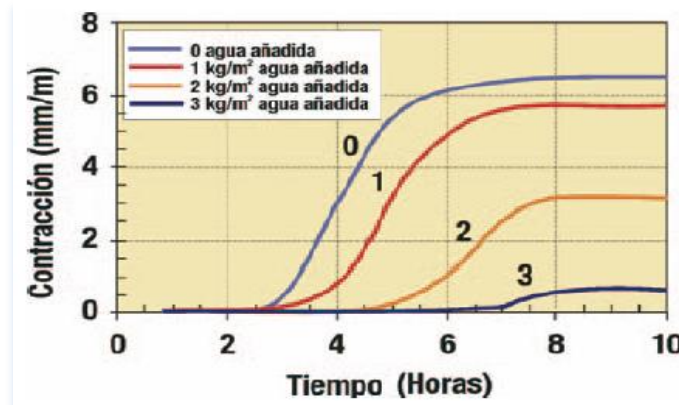
2.5.- Tiempo de curado del hormigón en la obra.

Según el Art. 71.6 EHE-08. Curado del hormigón, especifica que durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo mediante un adecuado curado. Éste se prolongará durante el plazo necesario en función del tipo y clase del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente, etc.

Los principales métodos para el curado del hormigón son los siguientes:

- Protección con láminas de plástico.
- Protección con materiales humedecidos (sacos de arpillera, arena, paja, etc.).
- Riego con agua.
- Aplicación de productos de curado que formen membranas de protección.

El curado realizado con agua debe de colocar una capa equivalente a 3 kg/m² para que la retracción sea mínima (ver gráfico siguiente). Esto equivale, en la práctica, a inundar la losa. Este hecho pone de manifiesto la poca utilidad de aplicar un ligero riego de agua para controlar la retracción plástica, o como parte de una estrategia de curado.



- La falta de curado provoca en el hormigón una bajada de resistencia entre el 30 y el 50%.
- Entre 5º y 25º se regará con frecuencia durante los días que calcula la aplicación Conex y el resto del tiempo se regará al menos una vez.
- Por encima de 35º no se hormigonará sin la autorización expresa de la Dirección Facultativa.

3.- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

- Instrucción de Hormigón Estructural EH-08.
- Normas UNE.
- Document ACI 305R Hot Weather Concreting.
- Guide to Concrete Construction.
- Standard Practice for Curing Concrete.
- Varias publicaciones de IECA.
- Tesis Doctoral. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado. Autor D. José Ángel Ortiz Lozano.
- Trabajo Fin de Máster. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura durante el periodo estival en la resistencia a compresión de probetas de hormigón. Autora Mª Cristina García Toledano.
- Influencia en la resistencia a compresión del hormigón de la temperatura ambiente elevada durante el hormigonado. Autor Manuel Burón Maestro.