



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Estructural

LM-PIE-24-2018

CRITERIO TÉCNICO SOBRE EL RANGO DE TEMPERATURA PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LOSAS DE PUENTES

San José, Costa Rica
03 de julio 2018



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



1. Informe No.: LM-PIE-24-2018		
2. Título: Criterio técnico sobre el rango de temperatura para la colocación del concreto hidráulico en losas de puentes.		3. Fecha 03 de julio de 2018
4. Persona quien prepara el informe Ing. María José Rodríguez Roblero, PhD Investigadora- Programa de Ingeniería Estructural (PIE) Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica		
5. Persona y organización a quien va dirigido el informe Ing. Raquel Arriola Guzmán Coordinadora Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT) Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica		
6. Palabras clave Temperatura, concreto hidráulico, construcción, losas de puentes		
7. Informe preparado por: Ing. María José Rodríguez Roblero, PhD Investigadora Programa de Ingeniería Estructural		
Fecha: 03/07/2018		
		8. Revisión y aprobación: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD Coordinador Programa de Ingeniería Estructural
Fecha: 03/07/2018		



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	8
3.	REVISION DE DOCUMENTACIÓN RELEVANTE.....	8
4.	RECOMENDACIONES	12
5.	REFERENCIAS	14
	ANEXO A SOLICITUD DE CRITERIO TÉCNICO	15



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

LanammeUCR

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 6 de 17
----------------------------	---------------------------------------	----------------

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax(506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr



1. INTRODUCCIÓN

1.1. General

Este informe se realiza ante la solicitud de la Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT) del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) de emitir un criterio técnico en relación a la temperatura de colocación del concreto hidráulico en losas de puentes. La solicitud consta en el oficio con fecha de 11 de junio del 2018 (Ver Anexo A). Específicamente, se solicita realizar la revisión y establecimiento de un criterio técnico unificado respecto de lo que debe prevalecer en cuanto a la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico para losas de puentes, previo a su colocación. La temperatura de colocación de la mezcla de concreto hidráulico está especificada en la sección **552.10 Temperatura y condiciones ambientales** del *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010)*. De acuerdo a la información suministrada, las especificaciones en el CR-2010 se basaron en la sección **552 Temperature and Weather Conditions** del manual de *Especificaciones Estándar para la Construcción de Carreteras y Puentes en Proyectos de Carreteras Federales FP-14* (Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects). Estas dos secciones fueron adjuntadas al oficio. En este informe se presentan las conclusiones del análisis realizado de la documentación aportada y de otras referencias relevantes y se emite un criterio técnico en cuanto al rango de la temperatura de colocación del concreto hidráulico en losas de puentes.

1.2 Objetivos

El objetivo general es emitir un criterio técnico en cuanto a la temperatura de colocación de la mezcla de concreto hidráulico para losas de puentes.

El objetivo general se alcanzó mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- i. Revisión de la documentación aportada.
- ii. Consulta de referencias complementarias publicadas por ACI (American Concrete Institute) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 7 de 17
----------------------------	---------------------------------------	----------------



- iii. Comparación de publicaciones donde se especifica la temperatura de colocación de la mezcla de concreto para losas de puentes.

1.3 Limitaciones

El presente informe se limita a presentar un criterio técnico con base en la revisión de la normativa nacional y en las referencias complementarias consultadas.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la versión vigente de las *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010)* se indica que la temperatura de colocación del concreto hidráulico debe mantenerse entre 10 °C y 32 °C, pero para losas de puentes se especifica el rango de temperaturas entre 10 °C y 30 °C. Además, se permite que la Administración acepte una temperatura de colocación de la mezcla de concreto de hasta 35 °C. La existencia de dos rangos de temperatura con un límite superior diferente y una temperatura máxima de 35 °C genera confusión.

3. REVISION DE DOCUMENTACIÓN RELEVANTE

De acuerdo a la solicitud recibida, se revisaron las secciones 552.10 del CR-2010 y la sección 552.10 del manual FP-14. Adicionalmente se revisaron las especificaciones y las guías del ACI relativas a la temperatura de colocación del concreto en losas y las especificaciones de construcción de puentes de AASHTO. Ambas instituciones son reconocidas internacionalmente en la elaboración de normativa y guías para el diseño y la construcción de estructuras, y además cuentan con normativa específica para la construcción de losas de puentes. Se revisaron las siguientes publicaciones:

- *ACI 345R-11: Guide for Concrete Highway Bridge Deck Construction* (Guía para la construcción de losas de puentes de concreto).
- *ACI 305.1-06: Specification for Hot Weather Concreting* (Especificación para la colocación de concreto en clima caliente).
- *ACI 305R-10: Guide to Hot Weather Concreting* (Guía para la colocación de concreto en clima caliente).

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 8 de 17
----------------------------	---------------------------------------	----------------



- *AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications* 4th edition (Especificaciones de construcción de puentes AASHTO LRFD 4^{ta} edición).

A continuación se enumeran las principales similitudes y diferencias encontradas en las referencias consultadas con respecto al rango de temperatura especificado para mezclas de concreto.

- a. Todas las publicaciones revisadas coinciden en señalar la importancia de controlar la temperatura del concreto hidráulico en el momento de su colocación y para ello se establecen rangos de temperatura.
- b. Todas las publicaciones coinciden en especificar rangos de temperatura con un límite superior menor para losas de puentes en comparación con el límite superior de temperatura permitido para otros elementos de concreto. La razón por la cual se hace esta diferencia es porque las losas de puentes tiene la particularidad de ser elementos delgados con altos porcentajes de refuerzo (ACI 345R-11). Esta característica hace que las operaciones de colado y consolidación del concreto sean más difíciles (ACI 305R-10). Adicionalmente, al ser las losas superficies planas extensas son más propensas a presentar agrietamiento por retracción plástica (ACI 345R-11). Es necesario mencionar que el agrietamiento por retracción plástica no sólo depende de la temperatura del concreto al momento de ser colocado, sino que también depende de la humedad relativa, temperatura ambiente y la velocidad del viento (ACI 345R-11). Asimismo, las losas de puentes son elementos sometidos a constantes reversiones de esfuerzos, están expuestas a la abrasión y al efecto de las vibraciones producidas por el tráfico vehicular y todos estos factores favorecen la propagación del agrietamiento.
- c. A pesar de que todas las referencias coinciden en indicar un rango de temperatura con un límite superior de temperatura menor para losas de puentes, existen diferencias en los valores máximos establecidos. Por ejemplo, el CR-2010 especifica un límite superior de temperatura de 30 °C, mientras que en el FP-14 y AASHTO LRFD se especifica un límite superior de 27 °C. Si el contenido del CR-2010

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 9 de 17
----------------------------	---------------------------------------	----------------



está basado en el FP-14, llama la atención que el límite superior del rango de temperatura especificado en el CR-2010 resulta ser mayor al indicado en el FP-14. No se tiene conocimiento de la justificación ofrecida para permitir dicha variación. Es nuestro criterio que no se debió modificar el límite superior del rango de temperatura para losas de puentes si no existe una justificación técnicamente sustentada.

- d. En el segundo párrafo de la sección 552.10 del CR-2010 se hace referencia a las especificaciones de la norma ACI 305. En cuanto a la referencia a la norma ACI 305, la identificación correcta sería ACI 305.1-06 (*Specification for Hot Weather Concreting*) que es la correspondiente a las especificaciones para la colocación de concreto en clima caliente.
- e. En el segundo párrafo de la sección 552.10 del CR-2010 se indica que la temperatura de colocación de la mezcla de concreto hidráulico se puede aumentar hasta 35 °C si la Administración lo aprueba. Esta posibilidad de aceptar una temperatura mayor para la mezcla en el momento de colocación no existe ni en el FP-14 ni en las especificaciones AASHTO LRFD de construcción. En la sección 3.2.1 de la norma ACI 305.1-06 se permite que el responsable del proyecto acepte una temperatura de colocación de hasta 35 °C si es que no existen límites establecidos. En el caso del concreto estructural para puentes sí existen límites establecidos en la sección 552.10, por lo que el límite de 35 °C no aplicaría. Asimismo, en el ACI 305.1-06 sección 3.2.1 se exige que para aceptar una temperatura de colocación mayor se debe demostrar que la mezcla propuesta presenta un desempeño satisfactorio. El desempeño se puede demostrar con base en experiencias anteriores o mediante mezclas de prueba. Es nuestro criterio que las mezclas de prueba son necesarias y que permitir una temperatura de colocación mayor al límite superior de los rangos recomendados no debe permitirse sin demostrarse que se obtendrá concreto con un desempeño adecuado.
- f. El control de la temperatura de la mezcla de concreto no es el único parámetro que se debe considerar durante la colocación del concreto para losas de puentes, ya que también se debe controlar la razón de evaporación. El control de la razón de



evaporación para losas de puentes se especifica en la sección 552.10(c) del CR-2010, 552.10(c) del FP-14 y en AASHTO LRFD en la sección 8.6.5. La razón de evaporación debe controlarse para asegurar que se produce una adecuada hidratación en el concreto (ACI 345R-11) y para evitar el agrietamiento por retracción plástica. Cuando las condiciones climáticas favorecen la evaporación, la probabilidad de que ocurra agrietamiento por retracción plástica es mayor (ACI 305R-10 y ACI 345R-11). Tanto en el CR-2010 como en el FP-14 se establece que la razón de evaporación en el sitio debe ser menor a 0,5 kilogramos por metro cuadrado por hora ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$). Si la razón de evaporación fuera mayor a $0,5 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{h}$, tanto el FP-14 como el CR-2010 establecen que se deben de tomar medidas para controlar la evaporación del agua de la superficie de losas y losas de puentes en particular. En el caso de AASHTO LRFD, no se incluye un valor de evaporación límite, pero se indica que se debe prevenir la evaporación rápida para evitar el secado de la superficie y el incremento en el agrietamiento por secado (sección 8.6.5). En el artículo 3.1.3 de ACI 305.1R-06 se exige implementar medidas para controlar la evaporación cuando la razón de evaporación es mayor a $1.0 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{h}$. También en el artículo 3.1.3.1 de ACI 305.1R-06 se requiere el monitoreo de las condiciones ambientales (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento) en el sitio para determinar si se requieren medidas para controlar la humedad.

- g. En el CR-2010 y en FP-14 se hace referencia al nomograma de la Figura 552-1 (se tiene la misma nomenclatura en ambas referencias), el cual se puede utilizar para estimar la razón de evaporación potencial en un sitio a partir de la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura de la mezcla de concreto y la velocidad del viento. El mismo nomograma se incluye en el Apéndice A de la norma ACI 305.1-06. La Figura 4.2 de ACI 305R-10 también corresponde a la misma figura. El nomograma permite determinar la razón de evaporación potencial que se daría para diferentes condiciones ambientales, pero no es una estimación de la razón de evaporación en el sitio (ACI 305R-10). La razón de evaporación se debe medir en el sitio y en la sección 3.1.3.2 de ACI 305.1-06 se establecen los requisitos para los equipos de medición. De igual manera se establecen los requisitos para los equipos de medición de la evaporación en la sección 4.2.2 de ACI 305R-10.

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 11 de 17
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



4. RECOMENDACIONES

Con base en la revisión de las referencias realizada, se recomienda lo siguiente:

1. En la sección 552 del CR-2010 se debe indicar lo especificado en la sección 552 del FP-14, donde se establece que se debe mantener la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico, justo antes de la colocación, entre 10 °C y 27 °C para losas de puentes y entre 10 °C y 32 °C para otros elementos de concreto. Los límites de estos dos rangos de temperatura se podrían modificar sólo si existe una justificación técnicamente sustentada. Además, se debe actualizar la referencia a la norma para la medición de la temperatura del concreto, la cual debe ser INTE C43:2014. Se propone la siguiente redacción para el primer párrafo de la sección 552.10 del CR-2010, en donde se indica subrayado el texto modificado:

"Se mantendrá la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico entre 10 °C y 32° C, justo antes de la colocación, con excepción del concreto hidráulico para las losas de los puentes, que debe mantenerse entre 10 °C y 27 °C. El control de la temperatura se deberá realizar de acuerdo con la norma nacional INTE C43:2014."

2. Se debe modificar en el CR-2010 el segundo párrafo de la sección 552.10 en el que se permite que la Administración autorice una temperatura de colocación del concreto de hasta 35 °C según la norma ACI 305. De acuerdo a las especificaciones de ACI 305.1-06, se puede permitir una temperatura de colocación de la mezcla de concreto de hasta 35 °C únicamente si se demuestra que la mezcla a utilizar ha presentado un desempeño adecuado en experiencias anteriores o mediante mezclas de prueba. Se recomienda la siguiente redacción para el segundo párrafo de la sección 552.10 del CR-2010. Se indica subrayado el texto adicionado:

"Si por las condiciones particulares del proyecto, por ejemplo en casos de clima caliente, la Administración permitiera una temperatura de colocación mayor a la especificada en el párrafo anterior, ésta no podrá exceder los 35° C, según se establece en la norma ACI 305.1-06, y se dará la autorización únicamente si se aporta evidencia técnica, mediante registros de proyectos anteriores o mezclas de



prueba, que demuestre que con la mezcla de concreto propuesta se obtendrá un desempeño adecuado."

3. Se debe corregir la referencia a la norma ACI 305 que aparece en el segundo párrafo de la sección 552.10 del CR-2010, ya que la referencia correcta es ACI 305.1. La versión vigente actualmente es del año 2006, por lo que se debe referenciar como ACI 305.1-06.
4. Se recomienda modificar la definición de clima caliente dada en la sección 552.10 (b) del CR-2010 con base en la sección 1.3 de la especificación ACI 305.1-06. y en la definición de clima caliente dada en la sección 2.2 de ACI 305R-10 y en la sección 6.1.1 de ACI 345R-11. Se propone la siguiente redacción para la definición de clima caliente en donde se indica subrayado el texto modificado:

"(b) Clima caliente: Se considera como condiciones de clima caliente cuando en cualquier momento durante la colocación del concreto hidráulico la temperatura ambiente en el sitio de trabajo sea mayor a 27 °C, o cuando de acuerdo a las condiciones de temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento en el sitio se estime una razón de evaporación potencial mayor a 0,5 kg/m²/h según el nomograma en la Figura 552-1.

5. Se debe exigir, para su aprobación, el plan de medidas a implementar para asegurar una adecuada fabricación, transporte, colocación y curado del concreto si se prevé que en el sitio se presentarán condiciones de clima caliente. Estas medidas son necesarias para asegurar que la temperatura de la mezcla de concreto se encuentran dentro del rango de temperaturas establecido y así asegurar la calidad del concreto (sección 8.6.3 de AASHTO LRFD, sección 1.4 de ACI 305.1-06, sección 5.2 de ACI 305R-10, sección 6.1.1.1 de ACI 345R-11. Se recomienda añadir el siguiente párrafo en la sección 552.10 (b) después de la definición de clima caliente:

"Si por las condiciones particulares del proyecto es previsible que se presenten condiciones de clima caliente, se debe presentar para su aprobación antes de iniciar la colocación del concreto el plan detallado de las medidas que se implementarán durante la producción, colocación, acabado y curado del concreto cuando se dan las condiciones

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 13 de 17
----------------------------	---------------------------------------	-----------------



de clima caliente. Se permite iniciar con la colocación del concreto después de que el plan haya sido aprobado"

6. Se recomienda agregar el siguiente párrafo en la sección 552.10 del CR-2010 para indicar claramente la exigencia de controlar la evaporación:

"Se debe medir la razón de evaporación en sitio para verificar que se cumple con el requisito indicado en la sección 552.10 (c). En caso que la razón de evaporación medida sea superior al límite establecido en dicha sección, se debe implementar al menos una de las medidas indicadas en 552.10 (c). El equipo utilizado para medir la evaporación debe cumplir con los requisitos establecidos en la sección 3.1.3.2 de ACI 305.1-06."

5. REFERENCIAS

- [1] AASHTO. (2014). *AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications* (Cuarta edición). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] American Concrete Institute. (2006). *ACI 305R.1-06 Specification for Hot Weather Concreting*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [3] American Concrete Institute. (2010). *ACI 305R-10: Guide to Hot Weather Concreting*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [4] American Concrete Institute. (2011). *ACI 345R-11: Guide for Concrete Highway Bridge Deck Construction*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [5] Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2017). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010)*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- [6] United States Department of Transportation. *"FP-14: Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects"*. Federal Highway Administration.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO A Solicitud de criterio técnico

Informe No. LM-PIE-24-2018	Fecha de emisión: 03 de julio de 2018	Página 15 de 17
----------------------------	---------------------------------------	-----------------

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax(506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr



MEMORANDO UNAT-014-2018

PARA: Ing. Rolando Castillo Barahona, Coordinador PIE- LanammeUCR.

DE: Ing. Raquel Arriola Guzmán, Coordinadora UNAT, PITRA- LanammeUCR.

ASUNTO: Solicitud de criterio técnico sobre temperatura de concreto en losa de puente.

FECHA: 11 de Junio de 2018

CC: Ing. Luis Guillermo Loría, PhD, Coordinador General PITRA.
Ing. Fabián Elizondo Arrieta, Subcoordinador PITRA.
Archivo UNAT, Archivo PITRA

Estimado Rolando:

En razón de las tareas de ley que corresponden al LanammeUCR en materia de Normativa Técnica en Infraestructura Vial y que en materia de Puentes, el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) es el encargado de su atención, por parte de la Unidad de Normativa y Actualización Técnica (UNAT) del Programa de Infraestructura de Transporte (PITRA), se le solicita respetuosamente la revisión y establecimiento de un criterio técnico unificado respecto de lo que debe prevalecer en cuanto a la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico para losas de puentes, previo a su colocación.

La anterior solicitud se refiere a la *Sección 252 Concreto estructural del CR-2010 vigente*, específicamente en la *Subsección 552.10 Temperatura y condiciones ambientales*, que indica lo siguiente:

"Se mantendrá la temperatura de la mezcla de concreto hidráulico entre 10 °C y 32 °C, justo antes de la colocación, con excepción del concreto hidráulico para las losas de los puentes, que debe mantenerse entre 10 °C y 30 °C. El control de la temperatura se deberá realizar de acuerdo con INTE 06-02-06.



Si por las condiciones particulares del proyecto, por ejemplo en el caso de climas cálidos, la Administración decide elevar la temperatura de colocación, esta podrá elevarse hasta 35°C como máximo, de acuerdo a lo establecido en la norma ACI 305 "

Con respecto al plazo esperado de entrega, se propone el 25 de julio, dada la importancia de revisar la temperatura indicada en la *Sección 252 Concreto estructural, actualizada y oficializada en el 2017, versión que se basó en el FP 2014, de los cuales se adjunta copia electrónica de ambos documentos.*

Por lo tanto, agradezco la colaboración que nos puedan brindar, en aras de cumplir con un tema específico, asociado a las tareas asignadas en la Ley N° 8114.

Atentamente,

Ing. Raquel Arriola Guzmán
Coordinadora UNAT-PITRA

VºBº Ing. Luis Guillermo Loría, PhD
Coordinador General PITRA