



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe Final: LM-AT-43-19

## **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD**

***PROYECTO: Duplicación del Puente sobre el Río Virilla en la Ruta  
Nacional 32***



Informe Final

Preparado por:

**Unidad de Auditoría Técnica**

Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

San José, Costa Rica

Junio, 2020



<b>1. Informe</b> LM-AT-43-19		<b>2. Copia No.</b> 1
<b>3. Título y subtítulo:</b> Evaluación de la calidad de los materiales, prácticas constructivas y ensayos de control de calidad del proyecto: Duplicación del puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 32.		<b>4. Fecha del Informe</b> Junio 2020
<b>7. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
<b>8. Notas complementarias</b> --**--		
<b>9. Resumen</b> <u>Sobre los ensayos de calidad:</u> se evidenció que tanto el laboratorio de autocontrol de calidad como el laboratorio de verificación de calidad presentaban desviaciones en el método de muestreo, esto basado en lo indicado en la norma INTE 06-01-05. Este tipo de desviaciones al método puede ocasionar que la muestra tomada no sea representativa del concreto que se está colocando. <u>Sobre las prácticas constructivas observadas en la colocación de concreto:</u> se evidenció que se usaba el vibrador de manera inadecuada, lo cual puede incidir en la porosidad del concreto, así como en la adherencia del mismo al acero de refuerzo. Además, se evidenció que no se monitoreaba la tasa de evaporación del concreto durante la colocación en losas. <u>Sobre los materiales utilizados en el proyecto (concreto):</u> De las muestras realizadas se evidenció que los resultados del concreto se encontraban, en su mayoría, dentro de los límites de resistencia, contenido de aire y temperatura de colocación para los concretos de 357kg/cm <sup>2</sup> y 286 kg/cm <sup>2</sup> . Sin embargo, también se evidenció que varios de los valores de asentamiento obtenidos por el LanammeUCR y el laboratorio de verificación de calidad se encontraban fuera de los rangos especificados para los concretos de 357kg/cm <sup>2</sup> y 286 kg/cm <sup>2</sup> . <u>Sobre los materiales utilizados en el proyecto (acero de refuerzo):</u> en el caso del acero de refuerzo utilizado en el proyecto en cuestión las muestras ensayadas por el LanammeUCR y el laboratorio de verificación de calidad cumplen con las características mecánicas y físicas evaluadas según la norma ASTM A706.		
<b>10. Palabras clave</b> Auditoría Técnica, Puente, Ruta N°32, Muestreo de concreto y acero	<b>11. Nivel de seguridad:</b> Ninguno	<b>12. Núm. de páginas</b> 53



**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS Y ENSAYOS DE  
CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO: DUPLICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA EN LA  
RUTA NACIONAL 32**

**Departamento encargado del proyecto:** Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura, CONAVI

**Ingeniero de proyecto:** Ing. Oldemar Sagot González

**Laboratorio de verificación de calidad:** Laboratorio Vieto y Asociados

**Empresa contratista:** Consorcio Virilla 32, conformado por Constructora Mecó y Grupo Puentes y Calzadas Infraestructura.

**Laboratorio de control de calidad:** Laboratorio ITP Ingeniería de Pavimentos

**Licitación:** ITC-CRCP-90413-2016-002

**Monto:** 22,4 millones de dólares

**Supervisora:** UNOPS

**Plazo:** 374 días

**Director del LanammeUCR:**

Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.

**Coordinadora de Auditoría Técnica:**

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

**Audidores:**

Ing. Francisco Fonseca Chaves, MBA (auditor líder)

Ing. Erick Acosta Hernández (auditor adjunto)

Ing. Mauricio Picado Muñoz (auditor adjunto)

**Alcance del informe:**

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en la recopilación y análisis de la información sobre la calidad del concreto y el acero en el proyecto, que fue emitida por los laboratorios de LanammeUCR y del laboratorio de verificación de calidad. Adicionalmente, por medio de giras técnicas se evaluaron aspectos relacionados con los muestreos realizados por los laboratorios y de las prácticas constructivas desarrolladas en el proyecto.



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. FUNDAMENTACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS .....</b>	<b>8</b>
<b>3. OBJETIVOS DEL INFORME.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>9</b>
<b>4. ALCANCE DEL INFORME.....</b>	<b>9</b>
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>9</b>
<b>6. ANTECEDENTES .....</b>	<b>10</b>
<b>7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>10</b>
<b>8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-AT-43B-19 .....</b>	<b>11</b>
<b>9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>12</b>
<i>SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE LOS LABORATORIOS DE CALIDAD DEL PROYECTO.....</i>	<i>12</i>
<i>HALLAZGO 1. LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD NO SE APEGAN AL PROCESO DE MUESTREO DE CONCRETO FRESCO ESTABLECIDO EN LA NORMA INTE 06-01-05. ....</i>	<i>12</i>
<i>SOBRE LAS PRACTICAS CONSTRUCTIVAS.....</i>	<i>14</i>
<i>HALLAZGO 2. NO HAY EVIDENCIA DE UN MONITOREO DE LA TASA DE EVAPORACIÓN DEL CONCRETO DURANTE EL COLADO DE LAS LOSAS DEL PUENTE. ....</i>	<i>14</i>
<i>OBSERVACIÓN 1. SE EVIDENCIARON PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS INADECUADAS DURANTE LA COLOCACIÓN DE CONCRETO EN LAS DOVELAS DEL PROYECTO.....</i>	<i>17</i>
<i>SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.....</i>	<i>18</i>
<i>HALLAZGO 3. EL CONCRETO COLOCADO EN LOS ELEMENTOS DE LAS PILAS, CON RESISTENCIA DE 357 KG/CM<sup>2</sup> A LOS 28 DÍAS, SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA ESPECIFICACIÓN DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA DE COLOCACIÓN ESTABLECIDAS EN EL MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES CR-2010, BASADO EN LAS MUESTRAS TOMADAS POR EL LANAMMEUCR. ..</i>	<i>18</i>
<i>HALLAZGO 4. EL CONCRETO COLOCADO EN LOS ELEMENTOS DE LOS BASTIONES, CON RESISTENCIA DE 286 KG/CM<sup>2</sup> A LOS 28 DÍAS, SE ENCUENTRA DENTRO DE LOS LÍMITES DE LAS ESPECIFICACIONES DE RESISTENCIA Y TEMPERATURA DE COLOCACIÓN ESTABLECIDAS EN EL MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES CR-2010.....</i>	<i>26</i>
<i>HALLAZGO 5. LAS VARILLAS DEL ACERO DE REFUERZO UTILIZADO EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PROYECTO SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS REQUISITOS</i>	



*ESTABLECIDOS EN LA NORMA ASTM A706 EN CUANTO A SUS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y FÍSICAS.* ..... 33

**10. CONCLUSIONES**.....**44**

**11. RECOMENDACIONES** .....**45**

**12. REFERENCIAS**.....**46**

**13. ANEXOS** .....**47**

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE OFICIOS ENVIADOS A LA ADMINISTRACIÓN DURANTE EL PROCESO DE AUDITORÍA ..... 10

TABLA 2. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DEL CONCRETO DE LAS PILAS CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 357 KG/CM<sup>2</sup> ..... 18

TABLA 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DEL CONCRETO DE LAS PILAS CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 357 KG/CM<sup>2</sup> ..... 19

TABLA 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DEL CONCRETO DE LAS PILAS CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 357 KG/CM<sup>2</sup> CON EL DISEÑO DE MEZCLA VÁLIDO HASTA EL 12/09/2019..... 23

TABLA 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DEL CONCRETO DE LAS PILAS CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 357 KG/CM<sup>2</sup> CON EL DISEÑO DE MEZCLA VÁLIDO DESPUÉS DEL 12/09/2019 ..... 23

TABLA 6. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DEL CONCRETO DE LOS BASTIONES CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 286 KG/CM<sup>2</sup> ... 27

TABLA 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR DEL CONCRETO DE LOS BASTIONES CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 286 KG/CM<sup>2</sup> ..... 27

TABLA 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN DEL CONCRETO DE LOS BASTIONES Y MUROS CON RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE 286 KG/CM<sup>2</sup> ..... 30

TABLA 9. RESULTADOS DE ENSAYOS DE ESFUERZO REALIZADOS POR EL LANAMMEUCR PARA EL ACERO DE REFUERZO EMPLEADO EN EL PROYECTO..... 34

TABLA 10. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS VARILLAS DE ACERO DE REFUERZO ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR ..... 34

TABLA 11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA LAS VARILLAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR ..... 35

TABLA 12. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ESFUERZO REALIZADOS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN PARA EL ACERO DE REFUERZO EMPLEADO EN EL PROYECTO..... 39



TABLA 13. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN ..... 40

TABLA 14. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PORCENTAJE FUERA DE LOS RANGOS ESTIMADOS PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN . 41

### ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. MOLDEO DE CILINDROS POR PARTE DE LOS LABORATORIOS DE AUTOCONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD EN LA PRIMERA PORCIÓN DE LA AMASADA. FECHA DE LA FOTOGRAFÍA: 20 DE JUNIO DE 2019 FUENTE: LANAMMEUCR ..... 13

FOTOGRAFÍAS 2 Y 3. TOMA DE MUESTRA DE CONCRETO POR PARTE DE LOS LABORATORIOS DE AUTOCONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD DEL CAMIÓN AUTOMEZCLADOR EN LA PRIMERA PORCIÓN DE LA COLADA. FECHA: 27 DE NOVIEMBRE DE 2019 FUENTE: LANAMMEUCR..... 14

FOTOGRAFÍA 4. MEDICIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES (TEMPERATURA DEL AIRE, HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DE VIENTO). FECHA DE LA FOTOGRAFÍA: 10 DE DICIEMBRE DE 2019 FUENTE: LANAMMEUCR ..... 15

FOTOGRAFÍA 5. COLOCACIÓN DE CONCRETO EN “LOSA DE DOVELA 0” DEL PROYECTO. FECHA 10 DE DICIEMBRE DE 2019. FUENTE: LANAMMEUCR..... 17

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE LAS PILAS. .... 20

GRÁFICO 2. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE LAS PILAS. FUENTE: LANAMMEUCR..... 21

GRÁFICO 3. CONTENIDO DE AIRE DE LA MEZCLA DEL CONCRETO DE LAS PILAS. FUENTE: LANAMMEUCR..... 21

GRÁFICO 4. VALORES DE RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LAS PILAS ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR .... 22

GRÁFICO 5. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO EN LAS PILAS ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN ..... 24

GRÁFICO 6. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO EN LAS PILAS ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN..... 24

GRÁFICO 7. CONTENIDO DE AIRE DE LA MEZCLA DEL CONCRETO DE LAS PILAS ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN ..... 25

GRÁFICO 8. VALORES DE RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LAS PILAS ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN ... 26

GRÁFICO 9. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE LOS BASTIONES. FUENTE: LANAMMEUCR ..... 28

GRÁFICO 10. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE LOS BASTIONES. FUENTE: LANAMMEUCR..... 29

GRÁFICO 11. CONTENIDO DE AIRE DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE LOS BASTIONES. FUENTE: LANAMMEUCR ..... 29

GRÁFICO 12. VALORES DE RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE LOS BASTIONES ENSAYADAS POR EL LANAMMEUCR. FUENTE: LANAMMEUCR ..... 30



GRÁFICO 13. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO EN LOS BASTIONES ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	31
GRÁFICO 14. ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO EN LOS BASTIONES ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	32
GRÁFICO 15. CONTENIDO DE AIRE DE LA MEZCLA DEL CONCRETO EN LOS BASTIONES ENSAYADA POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	32
GRÁFICO 16. VALORES DE RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN PARA LAS MUESTRAS DE CONCRETO EN LOS BASTIONES ENSAYADAS POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN.....	33
GRÁFICO 17. ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR.....	35
GRÁFICO 18. ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO PARA EL ACERO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR.....	36
GRÁFICO 19. ELONGACIÓN PROMEDIO PARA EL ACERO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR .....	36
GRÁFICO 20. ESPACIAMIENTO PROMEDIO DEL ACERO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR .....	37
GRÁFICO 21. ALTURA DE CORRUGACIÓN PROMEDIO PARA EL ACERO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR.....	37
GRÁFICO 22. ANCHO INDIVIDUAL DE SEPARACIÓN DE CORRUGACIÓN PARA EL ACERO ENSAYADO POR EL LANAMMEUCR.....	38
GRÁFICO 23. ESFUERZO DE FLUENCIA PROMEDIO PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	41
GRÁFICO 24. ESFUERZO MÁXIMO PROMEDIO PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	42
GRÁFICO 25. ELONGACIÓN PROMEDIO PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN.....	42
GRÁFICO 26. ESPACIAMIENTO PROMEDIO DEL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN.....	43
GRÁFICO 27. ALTURA DE CORRUGACIÓN PROMEDIO PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN .....	43
GRÁFICO 28. ANCHO INDIVIDUAL DE SEPARACIÓN DE CORRUGACIÓN PARA EL ACERO DE REFUERZO ENSAYADO POR EL LABORATORIO DE VERIFICACIÓN.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	11
FIGURA 2. RAZÓN DE EVAPORACIÓN DE HUMEDAD SUPERFICIAL FUENTE: CR-2010 .....	16



**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA  
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, PRACTICAS  
CONSTRUCTIVAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO:  
DUPLICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA EN LA RUTA NACIONAL 32**

**1. FUNDAMENTACIÓN**

La Auditoría Técnica externa a proyectos en ejecución para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N°8603, dentro del plan anual de auditoría de la Unidad de Auditoría Técnica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Asimismo, el proceso de Auditoría Técnica se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril del 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

*“...la fiscalización que realiza la Universidad a través del Laboratorio es una fiscalización externa, que trasciende los contratos de mérito, y por ende, obras específicas, para abarcar la totalidad de la red nacional pavimentada (por ende, proyectos ya finiquitados) y que incluso podría considerarse “superior”, en el sentido en que debe fiscalizar también los laboratorios que realizan análisis de calidad, auditar proyectos en ejecución, entre otros aspectos, evaluar la capacidad estructural y determinar los problemas de vulnerabilidad y riesgos de esa red. Lo cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)*

**2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS**

El propósito de las auditorías técnicas que realiza el LanammeUCR en cumplimiento de las tareas asignadas en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria”, Ley N° 8114, es el de emitir informes que permitan a las autoridades del país, indicadas en dicha ley, conocer la situación técnica, administrativa y financiera de los proyectos viales durante todas o cada una de las etapas de ejecución: planificación, diseño y especificaciones; cartel y proceso licitatorio; ejecución y finiquito. Asimismo, la finalidad de estas auditorías consiste en que la Administración, de manera oportuna tome decisiones correctivas y ejerza una adecuada comprobación, monitoreo y control de los contratos de obra, mediante un análisis comprensivo desde la fase de planificación hasta el finiquito del contrato.

**3. OBJETIVOS DEL INFORME**

**3.1. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este informe es evaluar la calidad de los materiales, específicamente el concreto, y el acero. Adicionalmente, se pretenden analizar los muestreos realizados por los laboratorios de control y verificación de calidad y las prácticas constructivas desarrolladas en el proyecto.





### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar evaluaciones de los materiales utilizados en el proyecto y analizar su cumplimiento.
- Evaluar las prácticas constructivas realizadas en la ejecución del proyecto.
- Realizar una testificación de los ensayos efectuados al concreto fresco, con el fin de determinar si se siguen los procedimientos de las normas de ensayo.

### 4. ALCANCE DEL INFORME

El alcance de esta Auditoría Técnica se centró en presentar un análisis general de los resultados de las muestras de concreto y acero colocados en el proyecto en cuestión, que fueron emitidos por los laboratorios del LanammeUCR y de verificación de calidad. Así como el análisis las prácticas constructivas y de muestreo en la obra en un plazo que comprende de marzo a noviembre de 2019.

Es importante aclarar que la toma de muestras del proyecto por parte de la Auditoría Técnica dentro del proceso de fiscalización, no tiene como finalidad cumplir la función del control ni verificación de calidad, tampoco le corresponde a esta Auditoría Técnica, realizar evaluaciones exhaustivas a nivel de proyecto, que son de competencia propia de la Administración, no obstante, la Unidad de Auditoría Técnica sí se asegura de realizar muestreos aleatorios y no sesgados.

Por otro lado, se reitera que la Auditoría Técnica corresponde a una descripción de los hechos observados en un momento determinado. Es un instrumento específico del proyecto, los datos presentados en los informes emitidos por esta unidad sirven como referencia para que la Administración tome las acciones correctivas respectivas, máxime que el proyecto en cuestión se encontraba en proceso constructivo durante la ejecución de la auditoría técnica. La determinación del nivel de cumplimiento contractual y la determinación de corrección de defectos o aplicación de multas es una responsabilidad propia de la Administración.

### 5. METODOLOGÍA

La labor que se efectúa en un proceso de auditoría se orienta en recopilar y analizar evidencias durante un periodo definido, así como identificar posibles elementos y aspectos que puedan afectar la calidad del proyecto.

Este informe se efectuó siguiendo los procedimientos de Auditoría Técnica, mediante la solicitud y revisión de la documentación del proyecto, cuando fue posible, así como la verificación en sitio de las condiciones indicadas anteriormente durante el proceso constructivo mediante visitas y ensayos de laboratorio.

Las actividades que fueron desarrolladas por el equipo de Auditoría Técnica consistieron en visitar los diversos frentes de trabajo y hacer una revisión de los documentos contractuales relacionados con el proyecto, así como programar muestreos, ensayos a los materiales y evaluación de cumplimiento de los materiales.



## 6. ANTECEDENTES

Como parte de la auditoría técnica que el LanammeUCR realiza al proyecto y en aras de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, durante el desarrollo de este proceso se emitieron varios oficios los cuales se citan a continuación:

**Tabla 1.** Resumen de oficios enviados a la Administración durante el proceso de Auditoría

Oficio/Nota Informe	Fecha de emisión	Asunto	Oficio respuesta de la Administración
LM-AT-038-2019	21/02/2019	Inicio de Auditoría y Solicitud de información	POE-01-2019-0161
LM-IC-D-0476-2019	28/06/2019	Observaciones de gira	POE-01-2019-0480
LM-IC-D-0514-2019	09/07/2019	Solicitud de reunión	No aplica
LM-IC-D-0861-2019	11/10/2019	Remisión de resultados de ensayos de laboratorio	POE-08-2019-0830
LM-IC-D-0940-2019	6/11/2019	Solicitud de información	POE-01-2019-0823 POE-01-2019-0887

## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La finalidad del proyecto “*Duplicación del Puente sobre el Río Virilla sobre la Ruta Nacional 32*” es la construcción de un nuevo puente en paralelo al existente, con el objeto de duplicar la capacidad de la carretera en este punto. Las características básicas del puente son las siguientes:

- Tiene 285 m de longitud y consta de tres vanos de 77,15 m, 129,75 m y 78,1 m.
- Las pilas se han encajado de forma que coinciden con las pilas 2 y 4 del puente actual.
- El tablero es un cajón de concreto postensado de 14,30 m de ancho.
- El peralte del tablero es variable de 6,5 a 2,6 m, aunque cerca del Bastión San José (Tibás), el canto se ha reducido a 1,55 m para disponer de un gálibo vertical adecuado con la calle de acceso al estadio Saprissa.
- El tablero se empotra en las pilas, que están formadas por dos pantallas macizas de concreto reforzado de 1,50 m de espesor, separadas 6,00 m entre sus ejes, y 8,1 m de ancho. Las pantallas que forman la pila se prolongan dentro del tablero a modo de diafragmas.
- El tablero se construirá por avance en voladizo como el puente existente, excepto en la parte más próxima a los bastiones donde se construirán sobre cimbra apoyada en el terreno. En las cercanías del bastión 1, la cimbra deberá ser porticada para no interrumpir el tráfico de la calle adyacente al bastión San José. En esta zona durante el momento del cimbrado será preciso restringir temporalmente, durante unas 6 a 8 semanas, el gálibo vertical de cruce. Se estima que el gálibo provisional podrá ser de unos 4 m.
- Todas las cimentaciones del nuevo puente serán de tipo directo y a niveles similares a las que tienen las del puente actual.

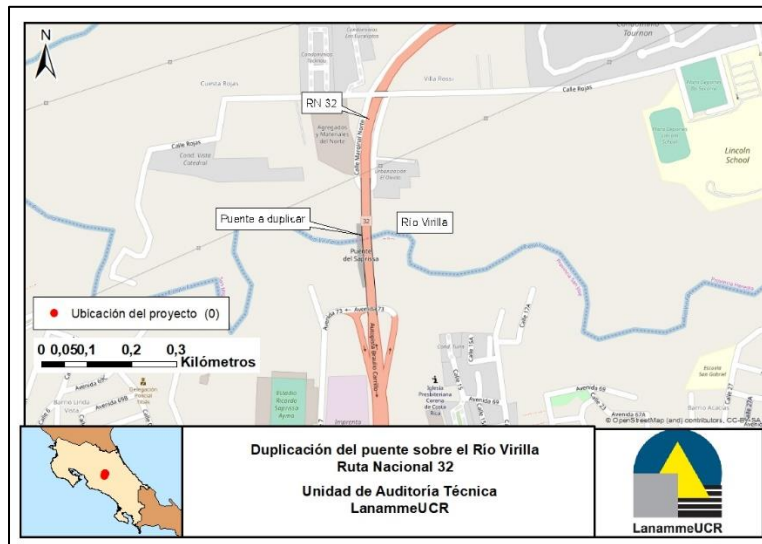


Figura 1. Ubicación del Proyecto

## 8. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSION PRELIMINAR LM-AT-43B-19

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-IC-D-0008-20 del 7 de enero de 2020 (recibido el 8 de enero de 2020), se envió el presente informe en versión preliminar (identificado como LM-AT-43B-19) a la parte auditada para su análisis y, en caso de requerirse, se procediera a esclarecer aspectos que no hayan sido considerados durante el proceso de ejecución de la auditoría; para tales efectos se otorgó un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe, dicho plazo finalizó el 29 de enero de 2020.

Adicionalmente, el día martes 21 de enero de 2020, se realizó con el auditado la presentación oral de los resultados del informe preliminar en las instalaciones del LanammeUCR, con el fin de comentar aspectos relacionados con su contenido. A esta actividad asistieron los siguientes participantes:

Ing. Juan Carlos Villanueva V	Ingeniero de proyecto - UNOPS
Ing. Denis Fernández Mesen	Ingeniero de proyecto - UNOPS
Ing. Ariel García López	Ingeniero de proyecto - Supervisión
Ing. Alejandro Molina S	Ingeniero de proyecto - Supervisión
Ing. Oldemar Sagot González	Ingeniero de proyecto - CONAVI
Ing. Wendy Sequeira Rojas	Coord. Unidad de Auditoría Técnica - LanammeUCR
Ing. Francisco Fonseca Chaves	Auditor Técnico - LanammeUCR
Ing. Erick Acosta Hernández	Auditor Técnico - LanammeUCR
Ing. Mauricio Picado Muñoz	Auditor Técnico - LanammeUCR

El día 29 de enero de 2020, se recibe, en las instalaciones del LanammeUCR, el oficio POE-01-2020-0067 (de fecha 29 de enero de 2020), remitido por el Ing. Oldemar Sagot González como descargo al informe en versión preliminar LM-AT-43B-19. Como parte



del descargo, se adjunta el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM (de fecha 28 de enero de 2020), donde UNOPS brinda descargo al informe.

Por tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, una vez analizado el documento en mención (ver Anexo 1) y considerando la evidencia presentada, se procede a emitir el informe LM-AT-43-19 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la Ley No. 8114 y sus reformas.

## 9. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Todos los hallazgos y observaciones declarados por el equipo de auditoría técnica en este informe de auditoría técnica, se fundamentan en evidencias representativas veraces y objetivas, respaldadas en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría técnica, el propio testimonio del auditado, el estudio de los resultados de las mediciones realizadas y la recolección y análisis de evidencias.

Se entiende como hallazgo de auditoría técnica, un hecho que hace referencia a una normativa, informes anteriores de auditoría técnica, principios, disposiciones y buenas prácticas de ingeniería o bien, hace alusión a otros documentos técnicos y/o legales de orden contractual, ya sea por su cumplimiento o su incumplimiento.

Por otra parte, una observación de auditoría técnica se fundamenta en normativas o especificaciones que no sean necesariamente de carácter contractual, pero que obedecen a las buenas prácticas de la ingeniería, principios generales, medidas basadas en experiencia internacional o nacional. Además, tienen la misma relevancia técnica que un hallazgo.

Por lo tanto, las recomendaciones que se derivan del análisis de los hallazgos y observaciones deben ser atendidas planteando acciones correctivas y preventivas, que prevengan el riesgo potencial de incumplimiento.

### **SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE LOS LABORATORIOS DE CALIDAD DEL PROYECTO.**

#### **Hallazgo 1. Los laboratorios de control y verificación de calidad no se apegan al proceso de muestreo de concreto fresco establecido en la norma INTE 06-01-05.**

Durante la visita realizada el día 20 de junio de 2019, tanto el laboratorio de verificación de calidad (Vieto y Asociados) como el de autocontrol de calidad (ITP) tomaron la muestra de concreto fresco sin seguir lo que indica la norma INTE 06-01-05 "Práctica Normalizada para muestreo de concreto recién mezclado", ya que tanto el laboratorio de verificación como el de autocontrol tomaron la muestra de la primera parte de la amasada (ver Fotografía 1). Esta situación fue notificada a la Administración mediante oficio LM-IC-D-0476-19 del 28 de junio de 2019.



**Fotografía 1.** Moldeo de cilindros por parte de los laboratorios de autocontrol y verificación de calidad en la primera porción de la amasada. Fecha de la fotografía: 20 de junio de 2019 Fuente: LanammeUCR

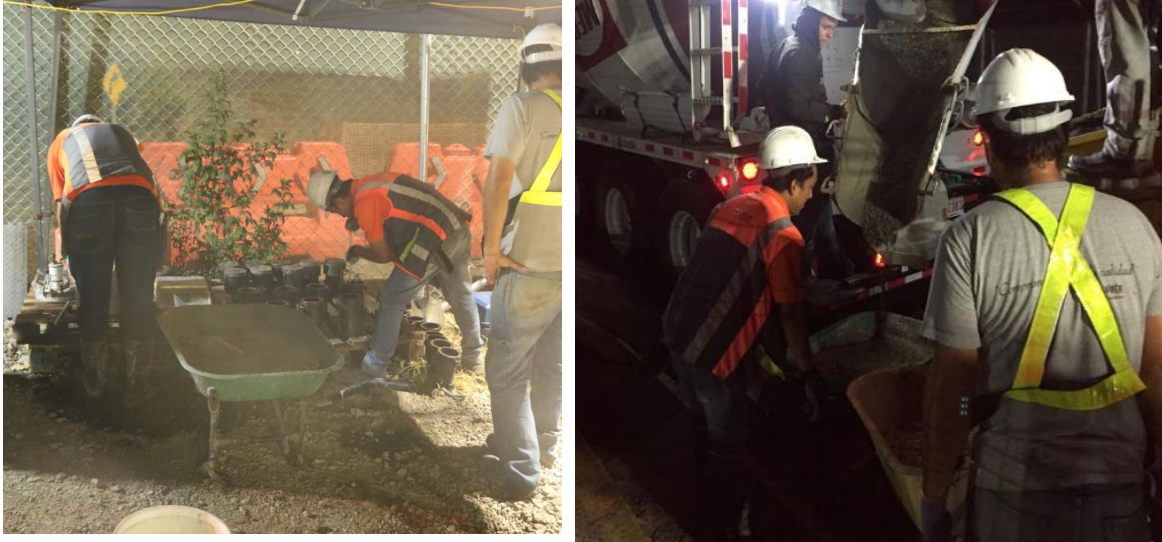
Según la norma ASTM C172 "Práctica normalizada para muestreo de concreto recién mezclado", para el muestreo de camiones mezcladores de tambor giratorio, el concreto se debe "recoger en dos o más porciones tomado a intervalos regularmente espaciados durante la porción media de la amasada." Además, indica que se debe muestrear "pasando repetidamente un recipiente a través de la corriente de descarga o desviando completamente la descarga en un contenedor de muestras." (El subrayado no es parte de original). Además, el CR-2010 indica en el apartado 552 Concreto Estructural, específicamente en la sección 552.09 Control de calidad de la mezcla que "Se tomarán muestras de los lotes especificados de acuerdo con la norma INTE 06-01-05 (Norma para el muestreo recién mezclado correspondiente a la ASTM C172).

Mediante oficio POE-01-2019-0480 del 12 de julio de 2019, la Unidad Ejecutora remite el oficio UNOPS-90413-20190708-120-TM, de fecha 8 de julio de 2019, en el cual se indica que debido a las condiciones de esa colada en particular y en aras de evitar accidentes en el sitio de obra no se procedió como se indica en la norma de muestreo.

Este tema también se conversó con la Unidad Ejecutora y con UNOPS en la reunión celebrada el lunes 22 de julio de 2019 en las instalaciones del LanammeUCR. En esta

reunión, la Supervisora del proyecto indicó que se iban a tomar las medidas para indicarles a los laboratorios de calidad del proyecto que se tomaran las muestras de manera correcta.

Durante la visita del día 27 de noviembre de 2019, se procedió a evidenciar como se estaban tomando las muestras por parte de los laboratorios de calidad como se observa en las Fotografías 2 y 3.



**Fotografías 2 y 3.** Toma de muestra de concreto por parte de los laboratorios de autocontrol y verificación de calidad del camión automezclador en la primera porción de la colada. Fecha: 27 de noviembre de 2019 Fuente: LanammeUCR

El laboratorio de verificación de calidad tomó la muestra en apego a la normativa indicada. En el caso del laboratorio de autocontrol tomó una muestra en apego a la normativa, sin embargo, en otra muestra tomada anteriormente, sin participación del laboratorio de verificación de calidad, sí se tomó la muestra de la primera parte de la amasada y únicamente en una porción (ver Fotografía 2).

Es criterio del equipo auditor que este tipo de prácticas pueden ocasionar que la muestra tomada no sea representativa del concreto que se está colocando en obra, por lo que estas prácticas de muestreo deben ser erradicadas de los laboratorios de calidad en los proyectos. También es criterio de los auditores que, aunque el laboratorio de autocontrol no se use para pagar los avances de obra, no es una justificación para que el ensayo no se realice en apego a la normativa.

## **SOBRE LAS PRACTICAS CONSTRUCTIVAS.**

**Hallazgo 2. No hay evidencia de un monitoreo de la tasa de evaporación del concreto durante el colado de las losas del puente.**

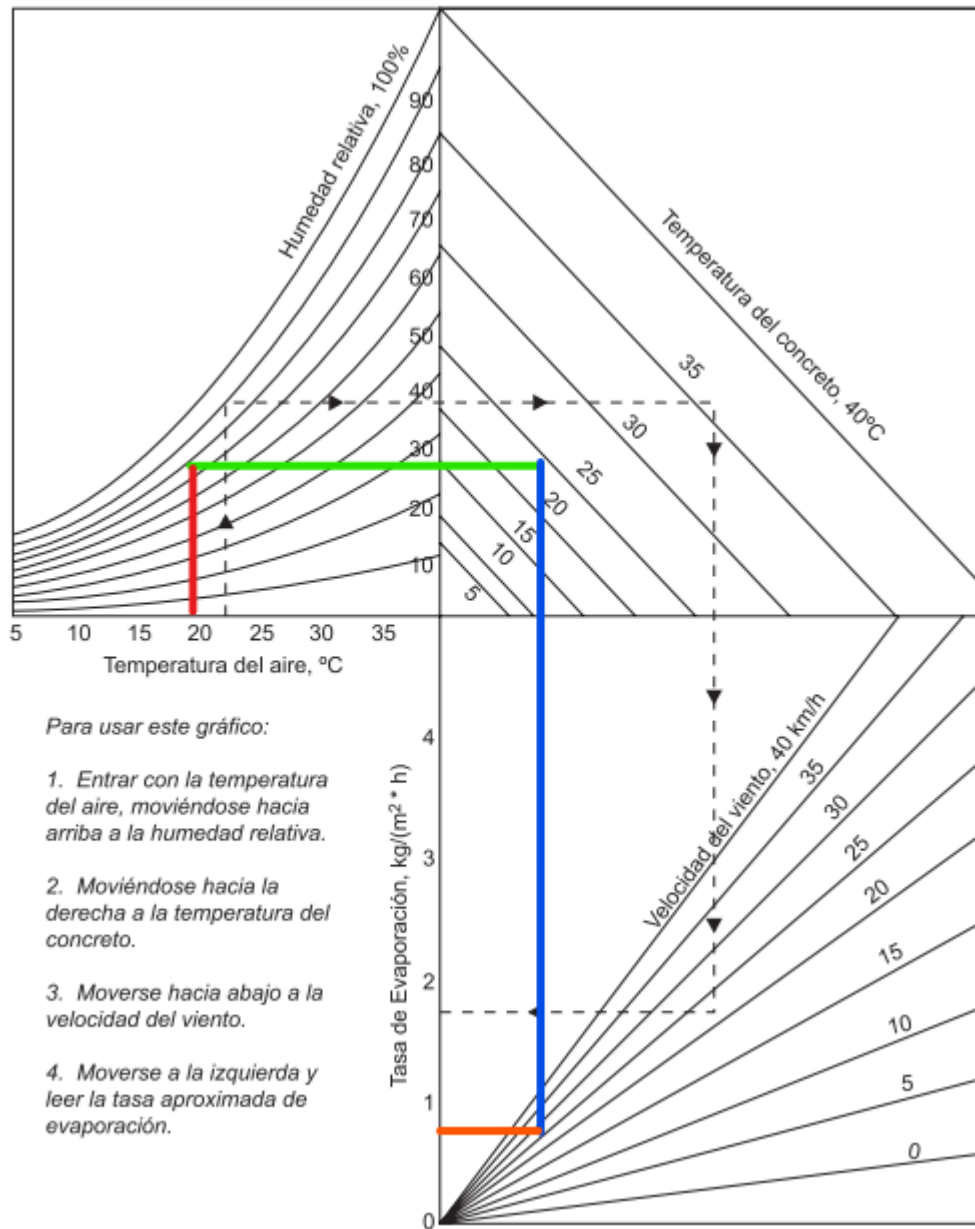
Durante la visita del día 10 de diciembre de 2019, el equipo auditor realizó mediciones de velocidad del viento durante la colada del elemento “Losa de dovela 0”. Durante estas mediciones se lograron tomar mediciones de velocidad mayores a los 25 km/h. Esto se puede observar en la Fotografía 4.



**Fotografía 4.** Medición de condiciones ambientales (Temperatura del aire, humedad relativa y velocidad de viento). Fecha de la fotografía: 10 de diciembre de 2019 Fuente: LanammeUCR

El CR-2010 en su apartado 552 “Concreto Estructural” Sección 552.10 Temperatura y condiciones ambientales, indica que “Evaporación: Cuando se coloque concreto hidráulico en la losa de los puentes o en otras losas expuestas, se debe limitar la evaporación esperada a una razón menor de 0,5 kilogramos de agua por metro cuadrado por hora, como se especifica en la Figura 552-1. La velocidad del viento se podrá obtener de la información que brinda el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) o bien con cualquier dispositivo debidamente aprobado por la Administración.”

Usando la figura 552.1 “Razón de evaporación de humedad superficial” tenemos la siguiente tasa de evaporación:



**Figura 2.** Razón de evaporación de humedad superficial Fuente: CR-2010

Tomando como datos de entrada las siguientes mediciones:

- Temperatura ambiente: 19 grados Celsius
- Humedad relativa: 77%
- Velocidad del viento: 25 km/h
- Temperatura del concreto: 23 grados Celsius

Nos encontramos con una tasa de evaporación es de 0,7 kg/(m<sup>2</sup>\*h). Esto es superior a lo permitido por el CR-2010. Es criterio del equipo auditor que estos parámetros deben ser monitoreados con el fin de poder determinar si se superan los umbrales permitidos para



poder tomar las medidas preventivas pertinentes. Es importante mencionar que una tasa de evaporación alta puede ocasionar contracción plástica en el concreto (Instituto Americano del Concreto , 2004).

Mediante el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM, adjuntado al oficio POE-01-2020-0067 del 29 de enero de 2020, se indica que se van a colocar barreras cortaviento, las cuales, según el criterio del equipo auditor, es una medida que permite reducir la velocidad del viento en la zona de colada de concreto y por ende reducir la tasa de evaporación.

**Observación 1. Se evidenciaron prácticas constructivas inadecuadas durante la colocación de concreto en las dovelas del proyecto.**

Durante la ejecución de los trabajos de colocación de concreto del elemento “Losa de dovela 0” del día 10 de diciembre de 2019, se observó que el vibrador se estaba usando de manera horizontal a lo largo de la sección como se muestra en la Fotografía 5.



**Fotografía 5.** Colocación de concreto en “Losa de dovela 0” del proyecto. Fecha 10 de diciembre de 2019. Fuente: LanammeUCR.

Según ACI 309R-05 "Compactación de concreto" en el capítulo 7 Prácticas de vibración recomendadas para la construcción en general. Apartado 7.2 Procedimiento para vibración interna se indica:

*"El vibrador debe sistemáticamente insertarse verticalmente con un espaciamiento uniforme sobre toda el área de colocación." (subrayado no es parte del original)*  
(Instituto Americano del Concreto, 2007)

Es criterio del equipo auditor que se debe asegurar que la compactación con el vibrador sea de forma vertical con el fin de asegurar la correcta remoción del aire atrapado en el

concreto recién colocado. Si no se asegura la correcta compactación del mismo el concreto será poroso y no estará correctamente adherido al acero de refuerzo que recubre.

En el oficio el UNOPS-90413-20200128-013-TM, adjuntado al oficio POE-01-2020-0067 del 29 de enero de 2020, se indica que esta situación fue detectada por la supervisora del proyecto y el contratista realizó charlas de refrescamiento sobre las buenas prácticas de compactación de concreto.

### **SOBRE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.**

**Hallazgo 3. El concreto colocado en los elementos de las pilas, con resistencia de 357 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, se encuentra dentro de los límites de la especificación de resistencia y temperatura de colocación establecidas en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, basado en las muestras tomadas por el LanammeUCR.**

Durante el año 2019, se han realizado muestreos de concreto en el proyecto. La información de los muestreos realizados por el LanammeUCR se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de las pilas con resistencia a compresión de 357 kg/cm<sup>2</sup>

No. Informe	Identificación de muestra	Fecha de muestreo	Elemento	Asentamiento (mm)	Temperatura de la mezcla (°C)	Contenido de Aire (%)	Resistencia promedio a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
I-1717-19	M-1765-19	29/08/2019	Pila 2, Ajuste, Tropa 7	220	24,3	2,0	383
I-1830-19	M-1816-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 1/5	230	23,1	1,4	349
I-1830-19	M-1817-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 2/5	225	23,1	1,3	378
I-1830-19	M-1818-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 3/5	225	23,4	1,4	360
I-1830-19	M-1819-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 4/5	210	24,8	2,0	400
I-1830-19	M-1820-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 5/5	210	24,8	1,6	414
I-1841-19	M-2015-19	24/09/2019	Pila 1, Tropa 3, Sector Sur	185	27,2	2,4	448
I-1841-19	M-2016-19	24/09/2019	Pila 1, Tropa 3, Sector Sur	210	26,7	2,1	445
I-1717-19	M-1765-19	29/08/2019	Pila 2, Ajuste, Tropa 7	135	26,1	3,9	438
I-1830-19	M-1816-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 1/5	170	26,1	3,1	467
I-1830-19	M-1817-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 2/5	200	23,8	1,9	410



I-1830-19	M-1818-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 3/5	200	25,1	2,1	390
I-1830-19	M-1819-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 4/5	145	26,2	2,5	323
I-1830-19	M-1820-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 5/5	170	25,6	2,8	456
I-1841-19	M-2015-19	24/09/2019	Pila 1, Tropa 3, Sector Sur	190	25,4	2,3	376
I-1841-19	M-2016-19	24/09/2019	Pila 1, Tropa 3, Sector Sur	205	24,6	1,8	415
I-1717-19	M-1765-19	29/08/2019	Pila 2, Ajuste, Tropa 7	220	25	2	416
I-1830-19	M-1816-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 1/5	220	27,9	3	592
I-1830-19	M-1817-19	30/08/2019	Pila 1, Fundación 2/5	210	26,7	3,8	537

Fuente: LanammeUCR

El equipo de la Unidad de Auditoría Técnica realizó un análisis estadístico con los datos de las muestras ensayadas por el laboratorio del LanammeUCR, donde se obtiene un porcentaje total estimado de valores fuera de los rangos de trabajo (PFL) para los parámetros en estudio, según la sección 107.05 del CR-2010, el cual se desglosa en la Tabla 3. Es importante destacar que el diseño de mezcla para los elementos de las pilas a partir del día 12/09/2019 sufrió modificaciones en los límites para los parámetros de asentamiento y contenido de aire, por lo que los especímenes evaluados luego de esta fecha no entraron en el análisis estadístico de la Tabla 3. No se realizó un análisis adicional para las muestras posteriores al 12/09/2019, pues el número de muestras después de esta fecha es insuficiente (número de muestras menor a 5). Cabe mencionar que esta evaluación estadística no forma parte del marco contractual del proyecto.

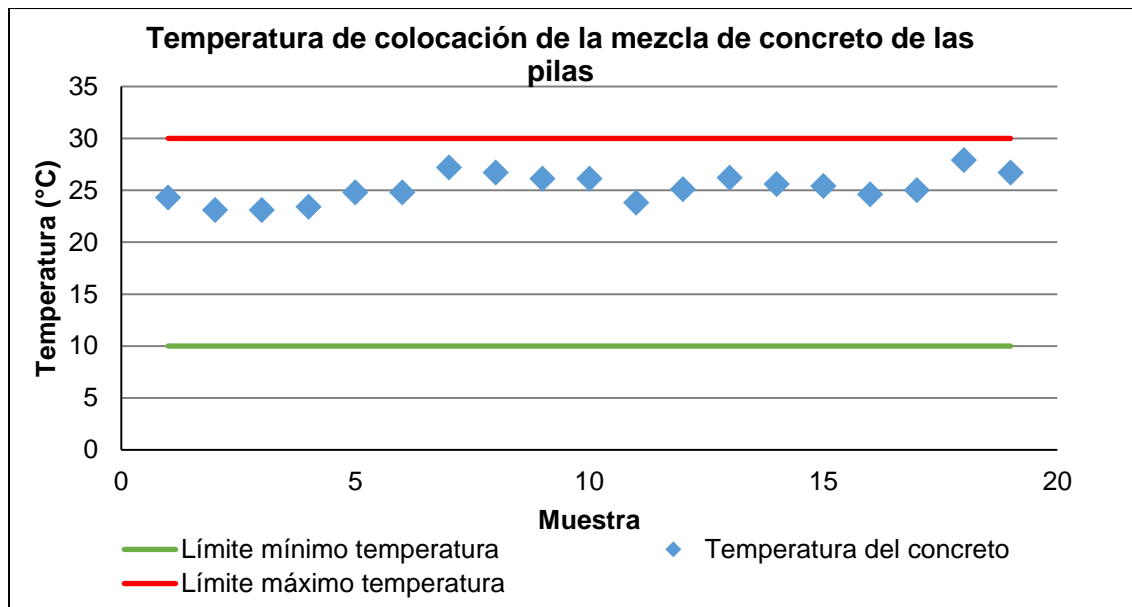
**Tabla 3.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de las pilas con resistencia a compresión de 357 kg/cm<sup>2</sup>

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 32 °C)	19	0,144	39,883
Asentamiento	(175 a 225) mm	17	38,700	40,726
Contenido de aire	(1 a 3) %	17	15,960	40,726
Resistencia a la compresión	Mínimo de 357 kg/cm <sup>2</sup>	19	16,492	39,883

Fuente: LanammeUCR

Como se puede observar en la Tabla 3, los resultados analizados para el parámetro de la resistencia promedio a la compresión de la mezcla de concreto a los 28 días se encuentran dentro de los límites máximos de variación permitida en la especificación establecida en CR-2010, lo anterior debido a que el porcentaje fuera del rango de trabajo (PFL) es de 16,492 %, el cual es menor al máximo permitido para un ensayo con 19 muestras, que corresponde a 39,883 %, según la Tabla 107-2 de la sección 107.05 del CR-2010. Así mismo, se realizó el análisis estadístico para las características de asentamiento, temperatura de la mezcla y contenido de aire. El asentamiento muestra los valores más grandes al poseer un PFL de 36,722 %, seguida del contenido de aire con 22,789 %, en contraste con la temperatura de la mezcla que se mostró como el parámetro más favorable con un PFL de 0,144 %.

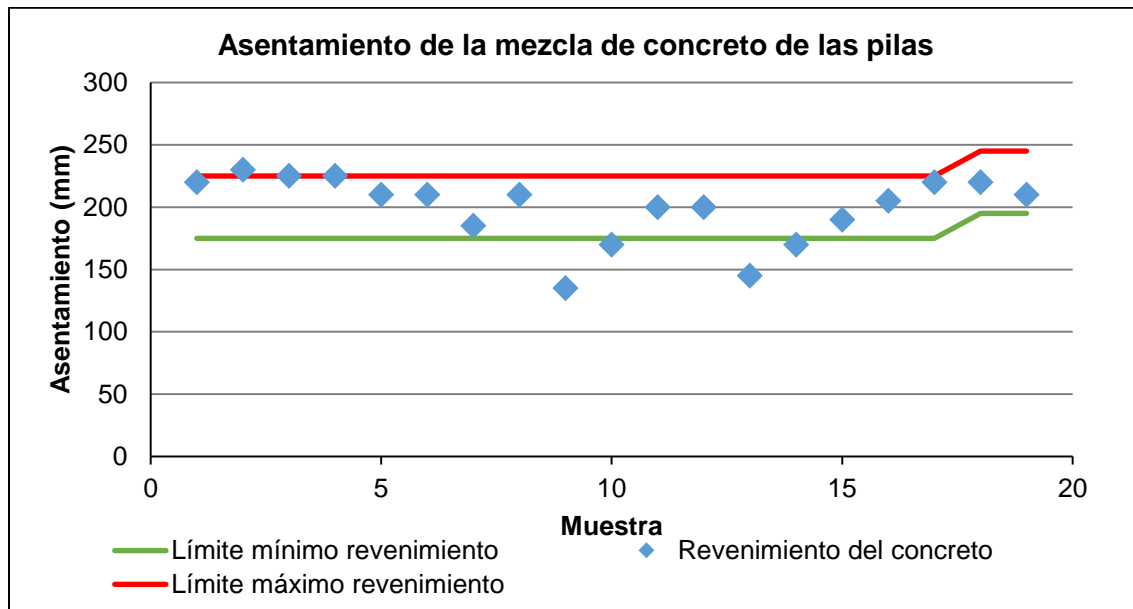
A continuación, se muestran los gráficos de los parámetros recién descritos en donde se muestra la variabilidad en relación a sus valores límites especificados:



**Gráfico 1.** Temperatura de colocación de la mezcla de concreto de las pilas.

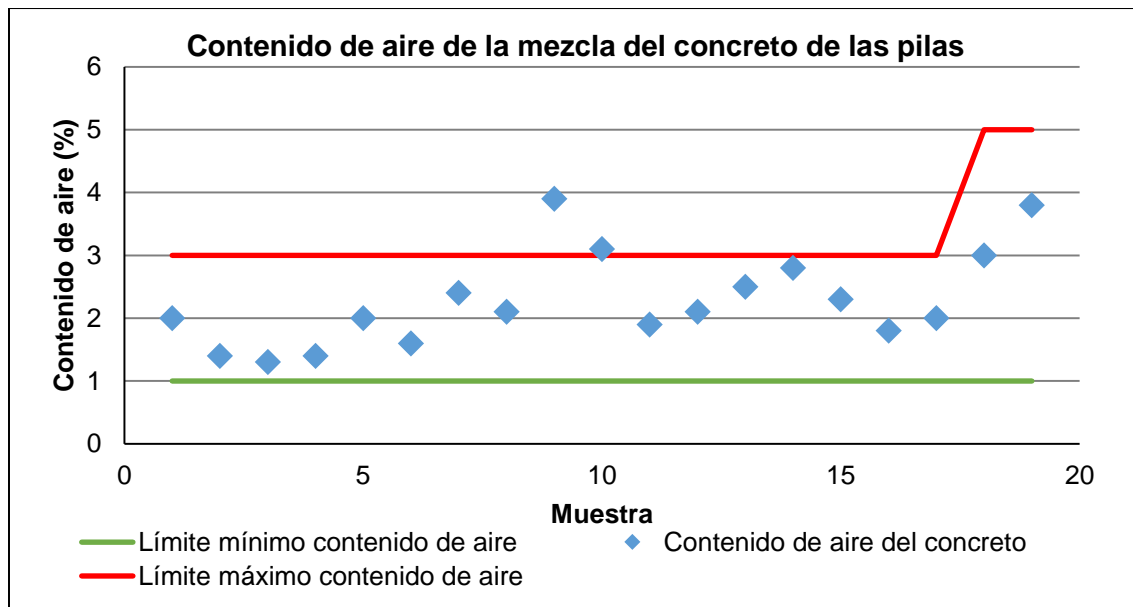
Fuente: LanammeUCR

Se puede observar en el Gráfico 1 que, en todas las ocasiones en las que se realizó el muestreo de concreto, la temperatura de la mezcla poseía una tendencia a acercarse hacia el límite superior de temperatura. Sin embargo, en ningún caso se incumplió con la especificación vigente.



**Gráfico 2.** Asentamiento de la mezcla de concreto de las pilas. Fuente: LanammeUCR

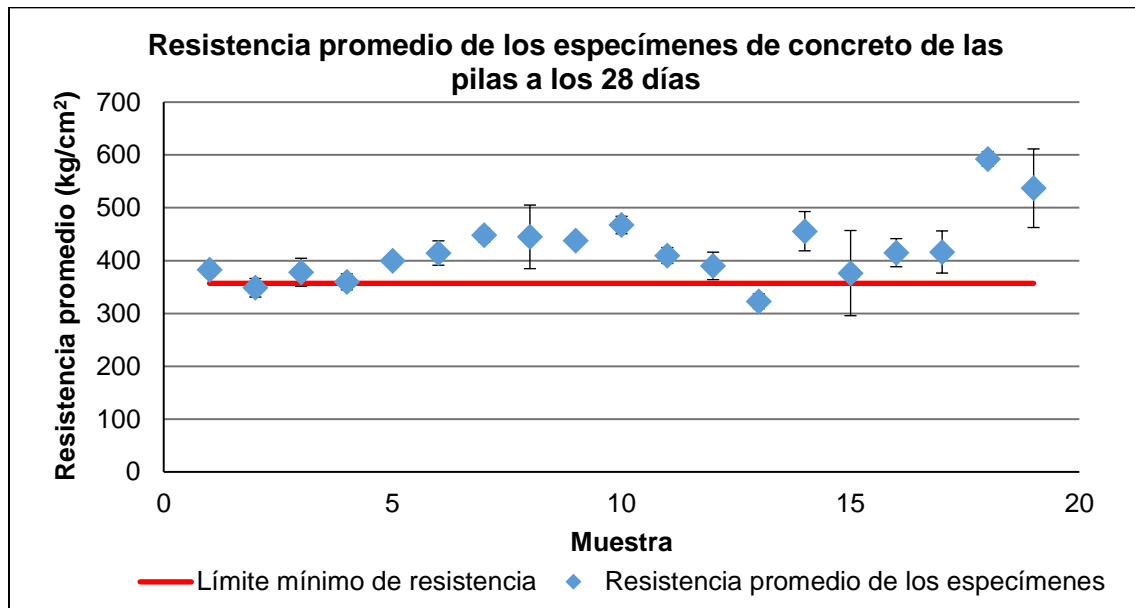
En el Gráfico 2, se aprecia que, en cuanto al asentamiento, varias de las muestras se encuentran fuera tanto del límite inferior como del superior establecido en el diseño de mezcla, lo que provoca una alta variabilidad entre las muestras. Esta variabilidad puede ocasionar que la consistencia necesaria para poder colocar el concreto no sea la adecuada lo que puede ocasionar problemas de trabajabilidad en la mezcla.



**Gráfico 3.** Contenido de aire de la mezcla del concreto de las pilas. Fuente: LanammeUCR

El contenido de aire fue un parámetro que en, términos generales, se encontraba dentro los límites especificados en el diseño de mezcla, tal y como se observa en el Gráfico 3. Es importante recordar que, por cada uno por ciento de contenido de aire superior al

especificado, se pueden obtener disminuciones del orden del 3 al 5 por ciento de resistencia del concreto. (Instituto Americano del Concreto, 2010)



**Gráfico 4.** Valores de resistencia promedio a la compresión a los 28 días para las muestras de concreto de las pilas ensayadas por el LanammeUCR

En el Gráfico 4, se observa que las resistencias obtenidas por el laboratorio del LanammeUCR se encuentran en su mayoría dentro de los límites de especificación. La muestra fuera de los límites de especificación (M-1816-19) fue remitida a la Unidad Ejecutora mediante oficio LM-IC-D-0861-19 del 11 de octubre de 2019. En el oficio 050-PV32-2019 de la Supervisión del proyecto (de fecha 5 de noviembre de 2019), se indica que el laboratorio de autocontrol procedió a fallar dos cilindros de concreto de la misma colada de la muestra M-1816-19 a los 60 días y obtuvo una resistencia mayor a la mínima requerida.

#### Laboratorio de Verificación de Calidad

Al igual que con las muestras ensayadas por el LanammeUCR, el equipo de la UAT realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos por el laboratorio de verificación en el que sí se contó con una cantidad mayor a la mínima requerida para evaluar el caso de los parámetros a los que se les modificaron los límites de especificación con el cambio en el diseño de mezcla mencionado previamente. Los análisis se muestran en las Tablas 4 y 5.

**Tabla 4.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación del concreto de las pilas con resistencia a compresión de 357 kg/cm<sup>2</sup> con el diseño de mezcla válido hasta el 12/09/2019

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 32) °C	47	1,837	33,019
Asentamiento	(175 a 225) mm	38	59,363	34,630
Contenido de aire	(1 a 3) %	32	8,384	35,932
Resistencia a la compresión	Mínimo de 357 kg/cm <sup>2</sup>	48	12,858	32,859

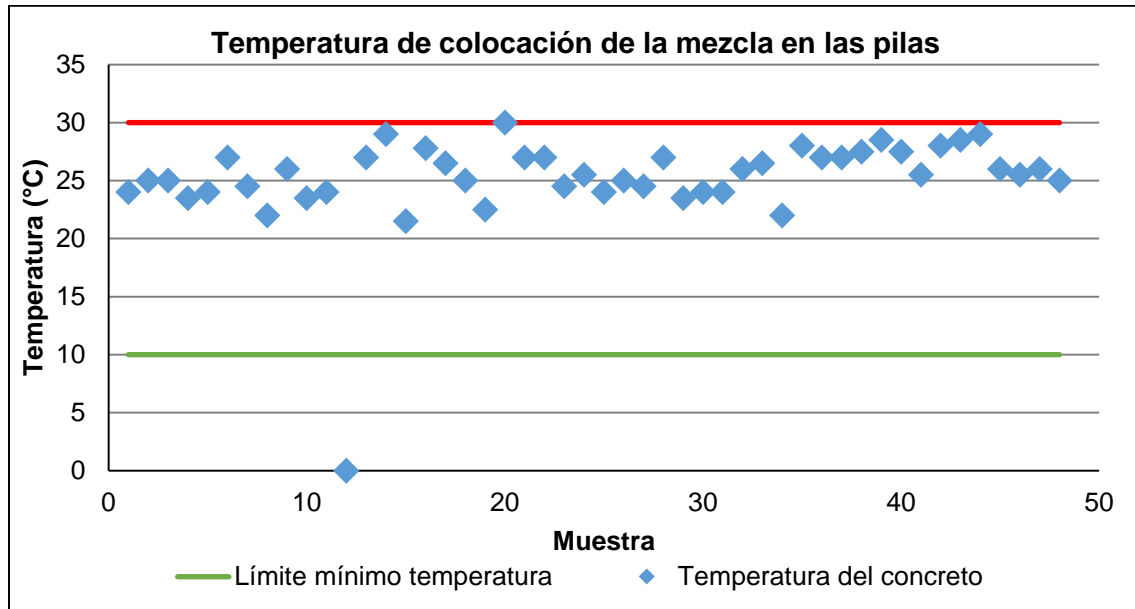
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que los parámetros de temperatura de colocación, resistencia a la compresión y contenido de aire presentan valores de PFL menores a los máximos permitidos por el CR-2010, por lo que se observan resultados similares a los obtenidos por el LanammeUCR, no así para el caso del asentamiento que reporta un PFL de 59,363 % en comparación al valor máximo de 34,630 %.

**Tabla 5.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación del concreto de las pilas con resistencia a compresión de 357 kg/cm<sup>2</sup> con el diseño de mezcla válido después del 12/09/2019

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Asentamiento	(195 a 245) mm	10	7,409	44,747
Contenido de aire	(1 a 5) %	10	14,546	44,757

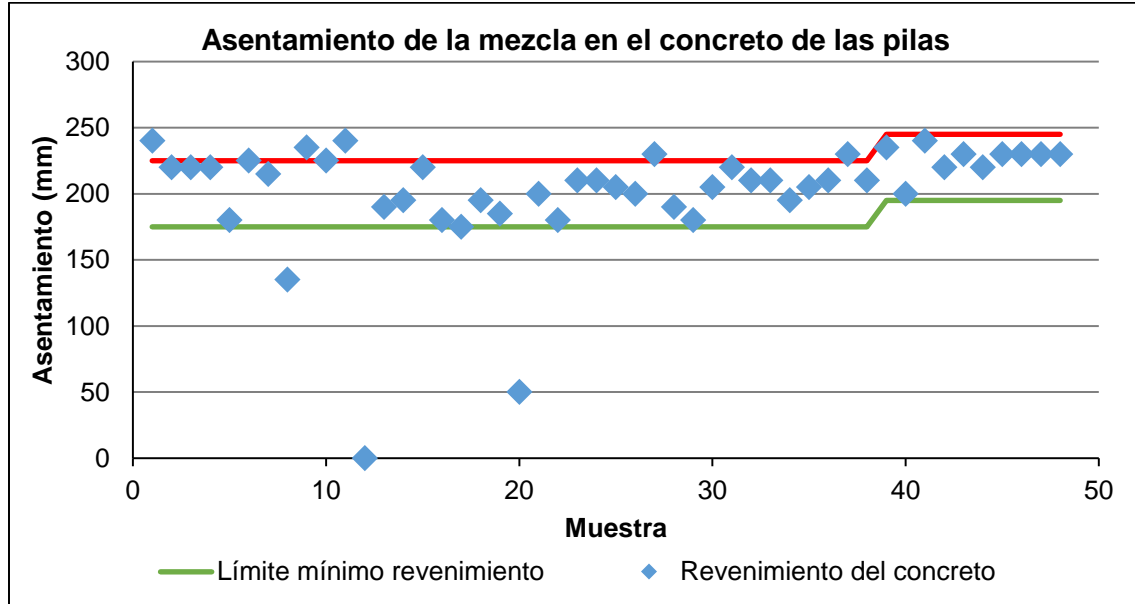
Ahora bien, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra que, después del cambio en el diseño de mezcla efectuado por el contratista de la obra, el parámetro de asentamiento ahora posee un PFL menor al valor máximo permitido en función del número de muestras, mientras que el contenido de aire continúa con un comportamiento similar al que mostró con el diseño de mezcla anterior.

A continuación, se muestran los gráficos de los parámetros recién descritos, en donde se muestra la variabilidad en relación a sus valores límites especificados:



**Gráfico 5.** Temperatura de colocación de la mezcla de concreto en las pilas ensayada por el laboratorio de verificación

En el caso de la temperatura de colocación se observa como los datos se acercan al límite superior por lo que la variabilidad de dicha característica es baja; sin embargo, el valor de especificación no es superado por ninguna muestra.<sup>1</sup>



**Gráfico 6.** Asentamiento de la mezcla de concreto en las pilas ensayada por el laboratorio de verificación

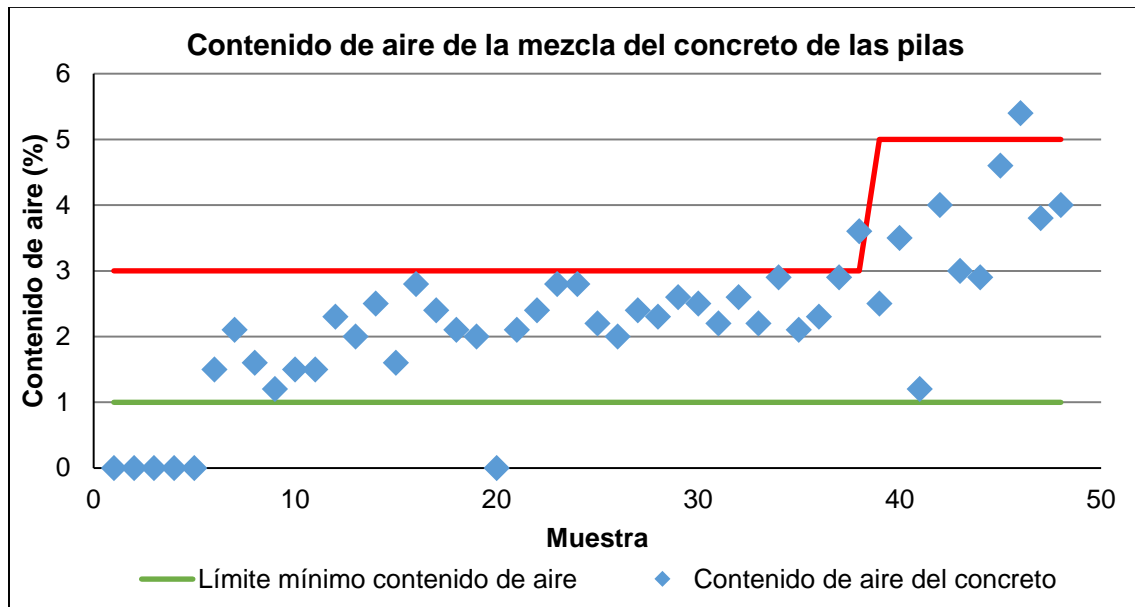
En el caso del asentamiento se tiene una variabilidad que viene dada por los valores que se encontraron notoriamente alejados del límite inferior y a esto se suma que los que sí

<sup>1</sup> Se incluyen los valores de los dos diseños de mezcla aportados.

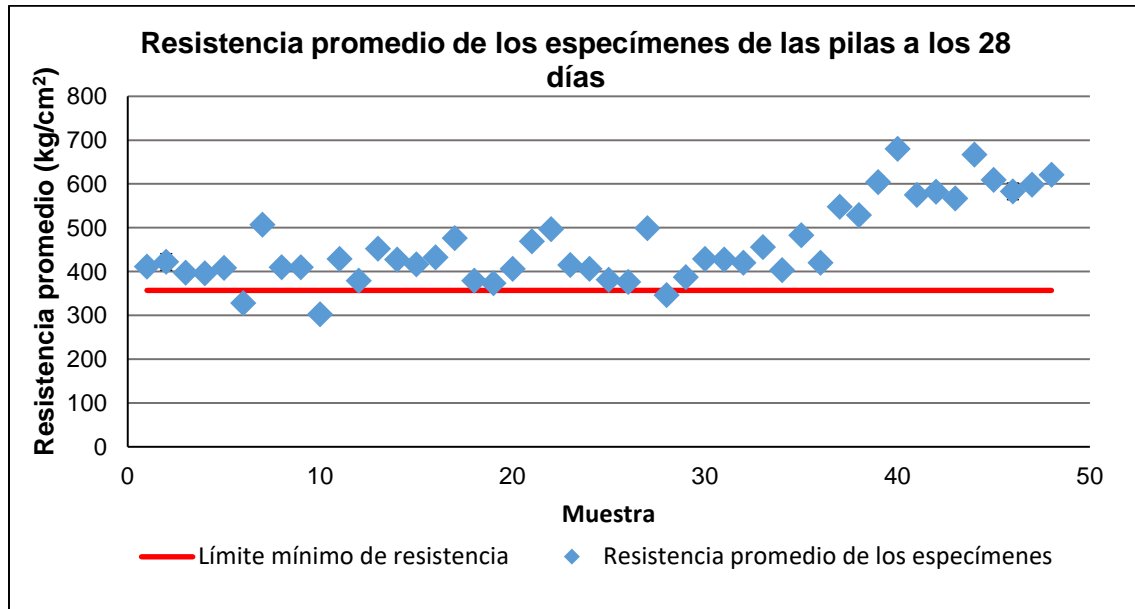


están dentro de los límites lo hacían tanto cerca del superior como del inferior. Luego del cambio en el diseño de mezcla todos los valores ensayados quedaron dentro de dichas especificaciones, aunque siguen mostrando una tendencia hacia la dispersión. En el caso de las muestras con un valor de cero, este fue el reportado en el informe brindado por el laboratorio de verificación.

En el Gráfico 7, se observa que la dispersión del contenido de aire más bien se incrementó luego del cambio en el diseño de mezcla pero que aun así la mayoría de los resultados se encontraron dentro de los límites de especificación. Los valores no indicados en el reporte del laboratorio de verificación son los que se muestran como cero en la gráfica.



**Gráfico 7.** Contenido de aire de la mezcla del concreto de las pilas ensayada por el laboratorio de verificación



**Gráfico 8.** Valores de resistencia promedio a la compresión para las muestras de concreto de las pilas ensayadas por el laboratorio de verificación

En cuanto al comportamiento de la resistencia en las pilas, se observa un incremento del valor reportado en los últimos muestreos de este análisis. Fueron pocas las muestras con resultados por debajo del mínimo especificado en los planos del proyecto (Gráfico 8).

En el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM (de fecha 28 de enero de 2020), se indica que el contenido de hielo fue ajustado para mantener contenidos mínimos de agua líquida y garantizar un comportamiento uniforme en el contenido de aire del concreto. De manera similar, se indica que para garantizar que el asentamiento se mantenga dentro de los rangos establecidos para el proyecto se han tomado dos medidas: 1) Protección de los agregados en los centros de producción de concreto. 2) Rechazar los camiones que reportan asentamientos de concreto fuera del rango requerido según el diseño aprobado.

**Hallazgo 4. El concreto colocado en los elementos de los bastiones, con resistencia de 286 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, se encuentra dentro de los límites de las especificaciones de resistencia y temperatura de colocación establecidas en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010**

El LanammeUCR a través del laboratorio de concreto y agregados ha procedido a realizar muestreos de concreto fresco en el proyecto. La información de los muestreos realizados por el LanammeUCR se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de los bastiones con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

No. Informe	Identificación de muestra	Fecha de muestreo	Elemento	Asentamiento (mm)	Temperatura de la mezcla (°C)	Contenido de Aire (%)	Resistencia promedio a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
I-1587-19	M-1452-19	23/07/2019	Bastión 1, Columna	180	22,5	1,9	389
I-1587-19	M-1453-19	23/07/2019	Bastión 1, Columna	180	23,5	1,9	344
I-1701-19	M-1631-19	20/08/2019	Bastión 1, Muro interno, fase 2	195	24,6	2,9	436
I-1969-19	M-2088-19	09/10/2019	Bastión 2, Alzado	195	23,8	4,2	456
I-1969-19	M-2090-19	09/10/2019	Bastión 2, Alzado	205	23,1	3,7	507

Fuente: LanammeUCR

El equipo de la Unidad de Auditoría Técnica realizó un análisis estadístico con los datos de las muestras ensayadas por el laboratorio del LanammeUCR donde se obtiene un porcentaje total estimado de valores fuera de los rangos de trabajo (PFL) para los parámetros en estudio, el cual se desglosa en la Tabla 7.

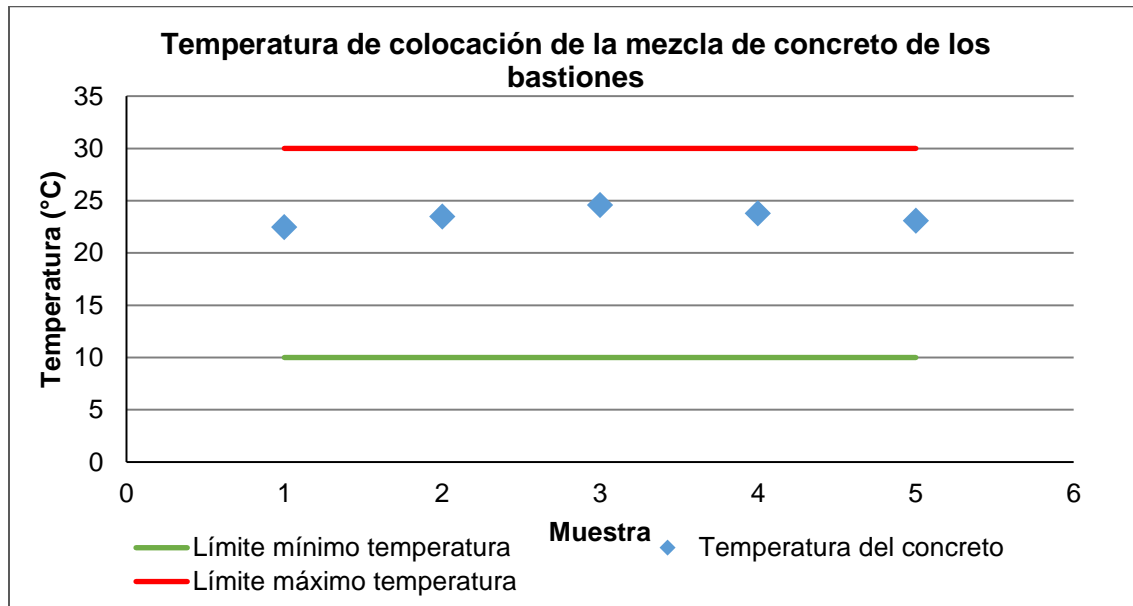
**Tabla 7.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de los bastiones con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 30) °C	5	0,061	50,000
Asentamiento	Varía según diseño de mezcla	5	La cantidad de muestras por diseño de mezcla es insuficiente para realizar el análisis estadístico.	
Contenido de aire	(1 a 5) %	5	12,741	50,000
Resistencia a la compresión	Mínimo de 286 kg/cm <sup>2</sup>	5	4,434	50,000

Fuente: LanammeUCR

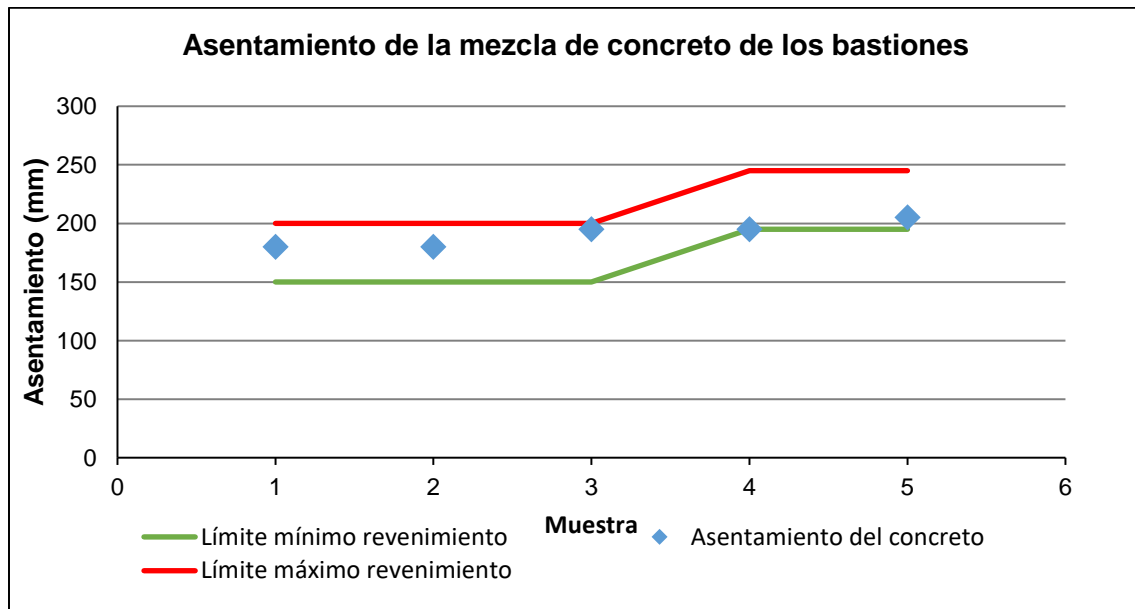
Como se puede observar en la Tabla 7, los resultados analizados para el parámetro de la resistencia promedio a la compresión de la mezcla de concreto a los 28 días se encuentran dentro de los lineamientos de máxima variación permitida en la especificación establecida en CR-2010, lo anterior debido a que el porcentaje fuera del rango de trabajo (PFL) es de 4,434 %, el cual es menor al máximo permitido para un ensayo con 5 muestras, que corresponde a 50,000 %, según la sección 107.05 del CR-2010. Asimismo, se realizó el análisis estadístico para las características de temperatura de la mezcla y contenido de aire. La variación del contenido de aire, con 12,741 %, muestra un PFL mayor al correspondiente a la temperatura de la mezcla (0,061%), pero ambos parámetros se encuentran dentro de la variación máxima permitida por la sección 107.05 del CR-2010.

A continuación, se muestran los gráficos de los parámetros recién descritos en donde se muestra la variabilidad en relación con los límites especificados:



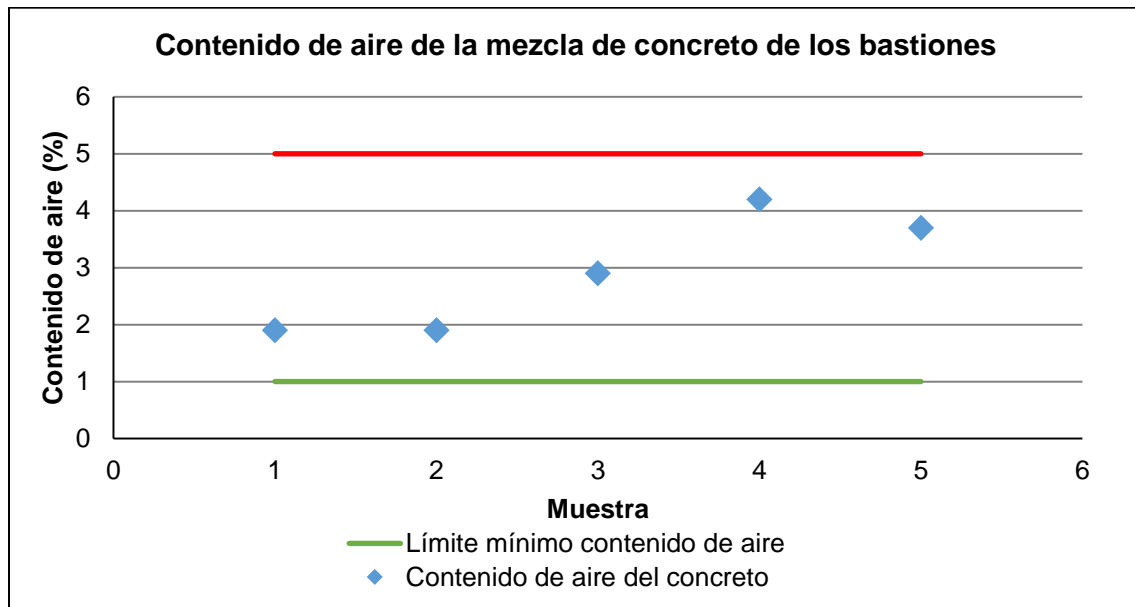
**Gráfico 9.** Temperatura de colocación de la mezcla de concreto de los bastiones. Fuente: LanammeUCR

Se puede observar en el Gráfico 9 que en todas las ocasiones en las que se realizó el muestreo de concreto, la temperatura de la mezcla se mantuvo dentro de las especificaciones vigentes.



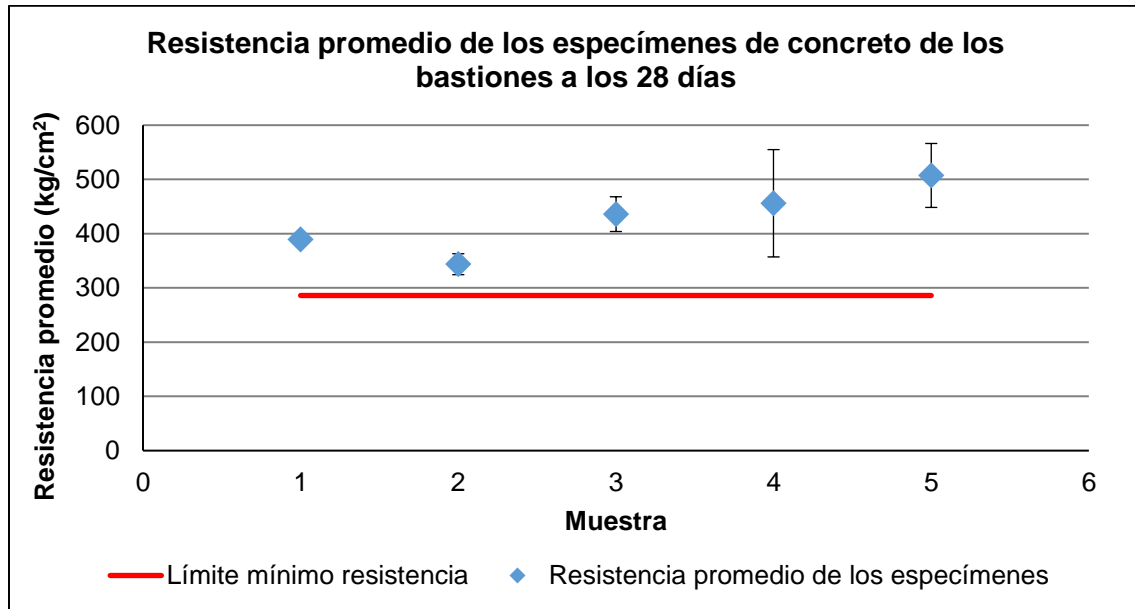
**Gráfico 10.** Asentamiento de la mezcla de concreto de los bastiones. Fuente: LanammeUCR

En el Gráfico 10, se aprecia que, en cuanto al asentamiento, todas las muestras se encuentran dentro de los límites establecidos para este parámetro.



**Gráfico 11.** Contenido de aire de la mezcla de concreto de los bastiones. Fuente: LanammeUCR

El contenido de aire denota un carácter disperso entre los dos límites de la característica, aun así, ninguna de las muestras presentó un valor que incumpliese con los límites especificados en el diseño de mezcla como se puede observar en el Gráfico 11.



**Gráfico 12.** Valores de resistencia promedio a la compresión a los 28 días para las muestras de concreto de los bastiones ensayadas por el LanammeUCR. Fuente: LanammeUCR

Como se observa en el Gráfico 12, todas las muestras presentan valores por encima de la resistencia de concreto especificada para las muestras de concreto ensayadas por el LanammeUCR para la resistencia de 286 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Laboratorio de Verificación de Calidad

El equipo auditor procedió a realizar el análisis estadístico de los resultados brindados por parte del laboratorio de verificación. Este análisis se muestra a continuación en la Tabla 8.

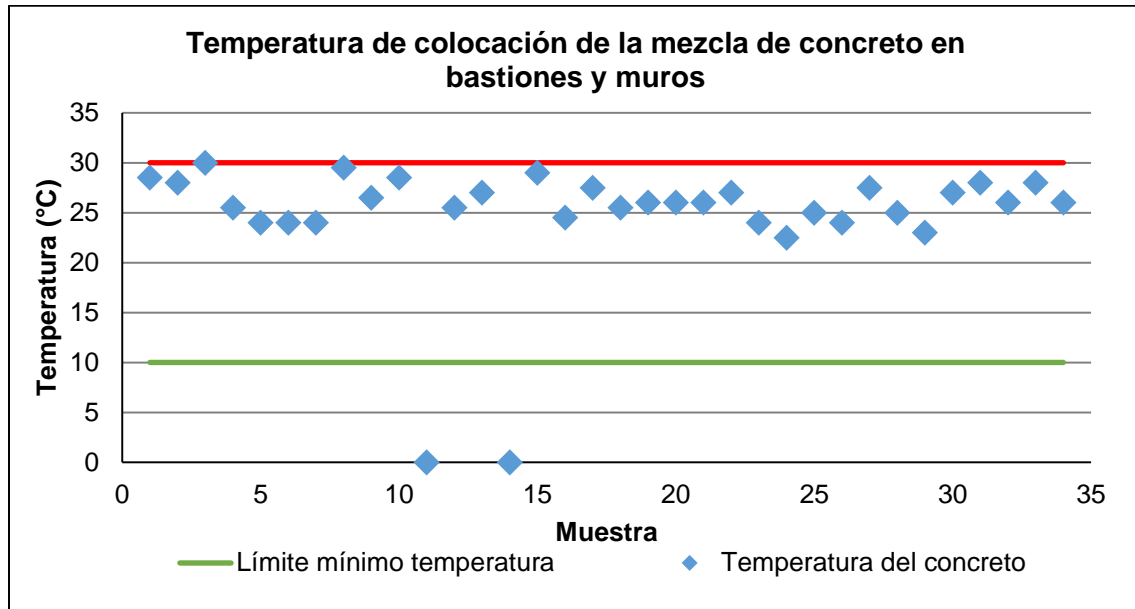
**Tabla 8.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación del concreto de los bastiones y muros con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 30) °C	32	2,854	35,932
Asentamiento	(150 a 200) mm	23	54,088	38,435
	(195 a 245) mm	9	41,086	45,545
Contenido de aire	(1 a 5) %	27	1,656	37,220
Resistencia a la compresión	Mínimo de 286 kg/cm <sup>2</sup>	48	8,862	32,859

Se puede observar en la Tabla 8 que el valor de PFL determinado para el asentamiento del primer diseño de mezcla presentado por el contratista es superior al permitido en la sección 107.05 del CR-2010. Por otra parte, los parámetros de temperatura de colocación de la

mezcla, contenido de aire y resistencia muestran valores de PFL menores a los máximos permitidos según el número de pruebas ejecutadas, lo cual es un comportamiento similar al registrado por las muestras ensayadas por parte del LanammeUCR.

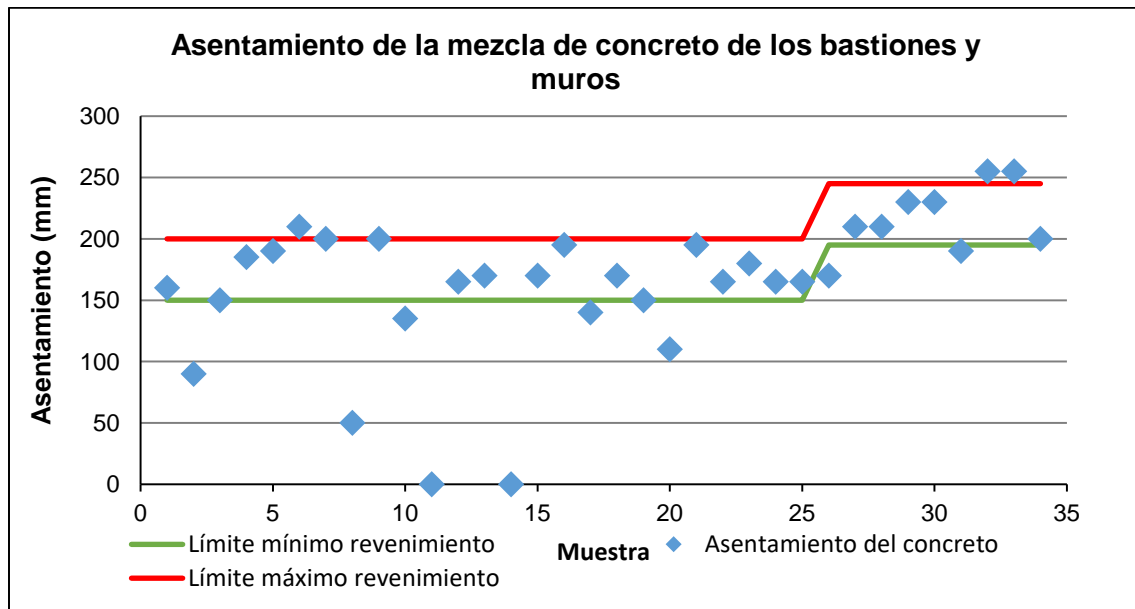
A continuación, se muestran los gráficos de los parámetros recién descritos en donde se muestra la variabilidad en relación a sus valores límites especificados:



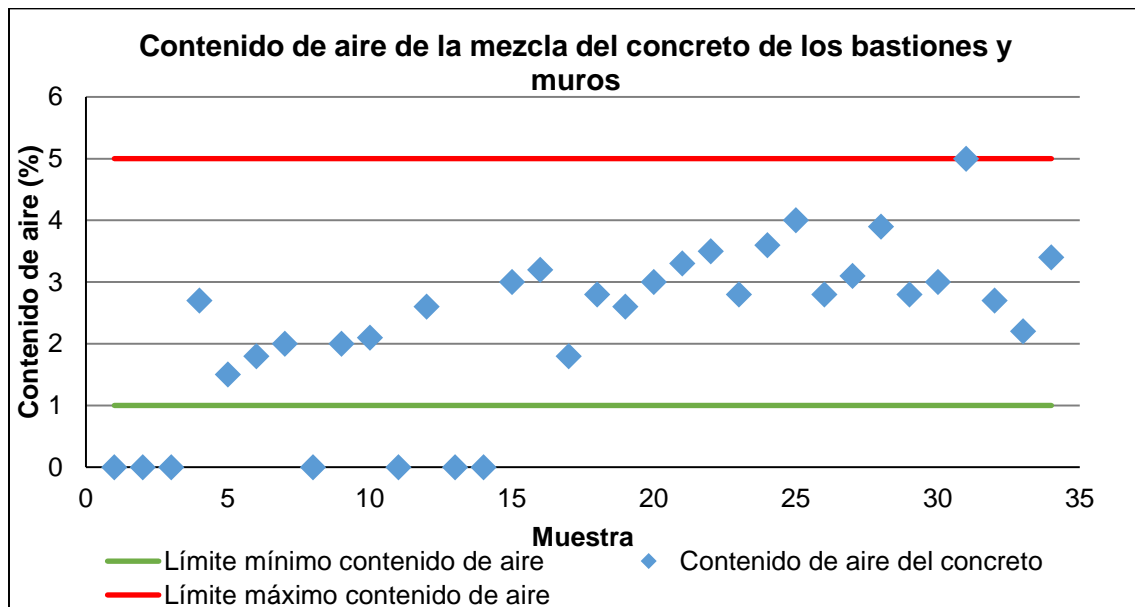
**Gráfico 13.** Temperatura de colocación de la mezcla de concreto en los bastiones ensayada por el laboratorio de verificación

Al igual que con los datos ensayados por el LanammeUCR, los valores muestran una tendencia hacia el límite superior sin superarlo. En este caso se muestra una mayor variabilidad, aunque es importante recalcar que también se cuenta con un mayor número de muestras que por parte del LanammeUCR. Los valores que aparecen en la gráfica como cero significa que no fueron reportados por parte del laboratorio de verificación.

En el Gráfico 14, se muestra la alta dispersión y cantidad de valores fuera de los límites especificados en el diseño de mezcla para el asentamiento de la mezcla de concreto, lo cual concuerda con los valores reportados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 8. Los valores que aparecen como cero en el Gráfico 14 se debe a que no fueron reportados por el laboratorio de verificación en el informe correspondiente.



**Gráfico 14.** Asentamiento de la mezcla de concreto en los bastiones ensayada por el laboratorio de verificación

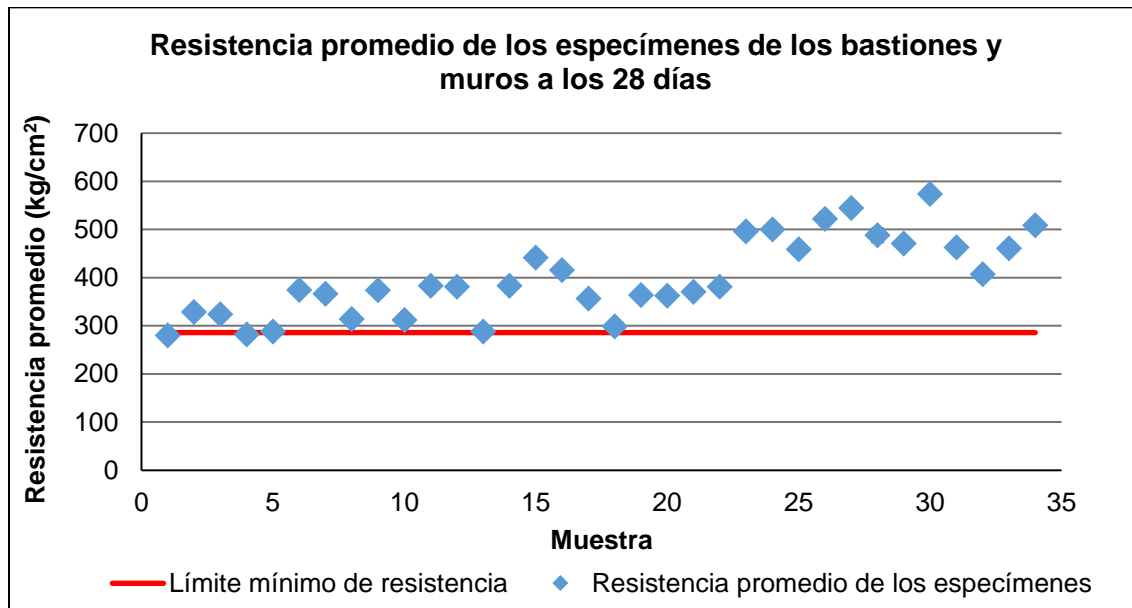


**Gráfico 15.** Contenido de aire de la mezcla del concreto en los bastiones ensayada por el laboratorio de verificación

En el Gráfico 15, se aprecia que todos los datos registrados del contenido de aire se ubican dentro de los límites de especificación del diseño de mezcla, también se denota la



variabilidad similar a los ensayados por el LanammeUCR. Nuevamente, los valores reportados como cero son porque el laboratorio de verificación no los reportó.



**Gráfico 16.** Valores de resistencia promedio a la compresión para las muestras de concreto en los bastiones ensayadas por el laboratorio de verificación

Los resultados registrados de resistencia tuvieron una tendencia hacia valores más elevados para los últimos muestreos tal y como sucedió con el concreto de las pilas que muestreó el mismo laboratorio de verificación, esto aumenta su variabilidad ya que existen otros datos con valores cercanos al límite de especificación en el diseño de mezcla.

**Hallazgo 5. Las varillas del acero de refuerzo utilizado en los elementos estructurales del proyecto se encuentran dentro de los requisitos establecidos en la norma ASTM A706 en cuanto a sus características mecánicas y físicas.**

Según los planos constructivos del proyecto, el acero de refuerzo debe cumplir con lo establecido en la norma ASTM A706 “Especificación Normalizada para Barras de Acero de Baja Aleación Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto”, es por este motivo que el LanammeUCR procedió a realizar los ensayos respectivos para verificar que se cumpliesen los requerimientos de este estándar; es así que se tomó una muestra de acero #4, #5, #7 y #10, y dos muestras de acero #6 y #8, cada muestra constituida por 3 varillas, de las que se determinó el esfuerzo de cedencia mediante la norma ASTM A370. En la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las características mecánicas del acero. Los valores resultantes son el promedio de cada muestra.

**Tabla 9.** Resultados de ensayos de esfuerzo realizados por el LanammeUCR para el acero de refuerzo empleado en el proyecto

Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Diámetro (#)	Grado	Resistencia a la tensión		
					Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo Máximo	Elongación
					Mín. 420 MPa	Mín. 550 MPa	14 % (4-6) 12 % (7-10)
I-1681-19	M-1544-19	12/08/2019	4	60	530	677	14
I-1681-19	M-1545-19	12/08/2019	5	60	495	679	14
I-1681-19	M-1546-19	12/08/2019	6	60	453	577	20
I-1681-19	M-1547-19	12/08/2019	6	60	512	669	16
I-1681-19	M-1548-19	12/08/2019	7	60	496	684	17
I-1681-19	M-1549-19	12/08/2019	8	60	464	629	19
I-1681-19	M-1550-19	12/08/2019	8	60	487	634	18
I-1681-19	M-1551-19	12/08/2019	10	60	508	655	16

Fuente: LanammeUCR

Se observa en los datos anteriores como todas las varillas muestreadas se encuentran dentro de los límites de la especificación de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo, al igual que el valor de la elongación en función del diámetro. Las características físicas del acero de refuerzo también se ensayaron por parte del LanammeUCR y se exponen en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Resultados de las propiedades físicas de las varillas de acero de refuerzo ensayadas por el LanammeUCR

Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Diámetro Varilla (#)	Grado	Espaciamiento entre corrugaciones		Altura de corrugación		Ancho individual de separación de corrugación	
					Muestras (mm)	Max (mm)	Muestras (mm)	Mín. (mm)	Muestras (mm)	Max (mm)
I-1681-19	M-1544-19	12/08/2019	4	60	8,3	8,9	0,7	0,51	1,6	4,9
I-1681-19	M-1545-19	12/08/2019	5	60	9,9	11,1	1,1	0,71	1,6	6,1
I-1681-19	M-1546-19	12/08/2019	6	60	12,6	13,3	1,4	0,97	1,1	7,3
I-1681-19	M-1547-19	12/08/2019	6	60	12,0	13,3	1,4	0,97	2,4	7,3
I-1681-19	M-1548-19	12/08/2019	7	60	14,1	15,5	1,6	1,12	3,1	8,5
I-1681-19	M-1549-19	12/08/2019	8	60	17,2	17,8	1,7	1,27	2,7	9,7
I-1681-19	M-1550-19	12/08/2019	8	60	16,0	17,8	1,9	1,27	3,1	9,7
I-1681-19	M-1551-19	12/08/2019	10	60	20,3	22,6	2,2	1,63	3,3	12,4

Fuente: LanammeUCR

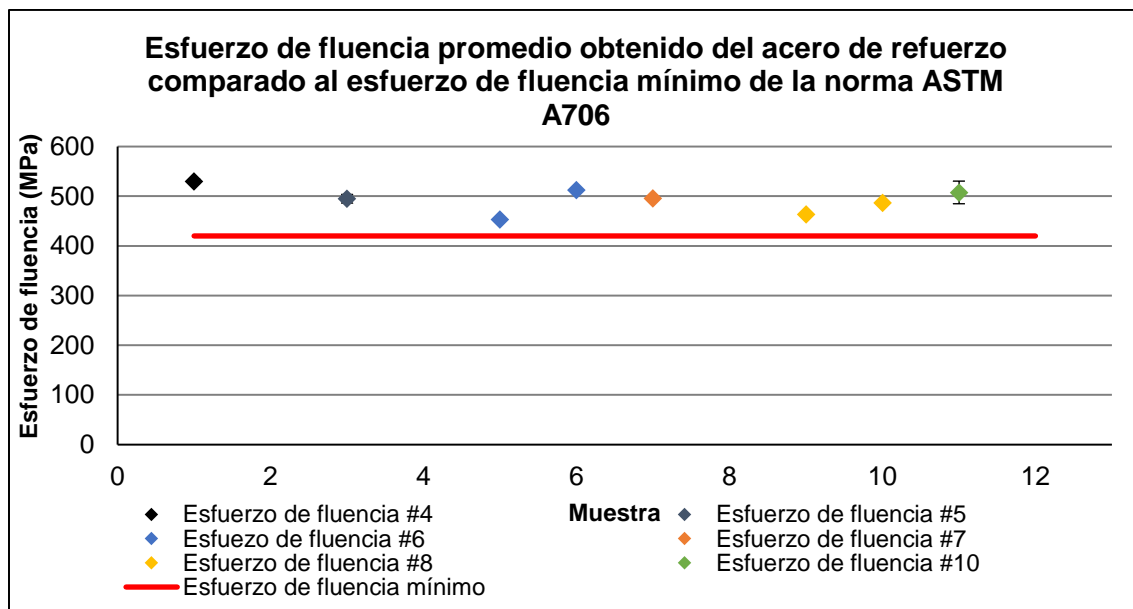
En los datos recién mostrados se observa que ninguna de las muestras ensayadas por el equipo auditor presentó valores fuera de los límites establecidos por la norma ASTM A706. Al realizar el análisis estadístico indicado por la sección 107.05 del CR-2010 para determinar los porcentajes fuera los rangos de trabajo (PFL) de las características mecánicas de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo (únicas con muestras suficientes para su ejecución) se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 11.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las varillas ensayadas por el LanammeUCR

Descripción	Especificación ASTM A706	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Esfuerzo de fluencia	Mín. 420 MPa	8	1,168	46,438
Esfuerzo máximo	Mín. 550 MPa	8	0,021	46,438

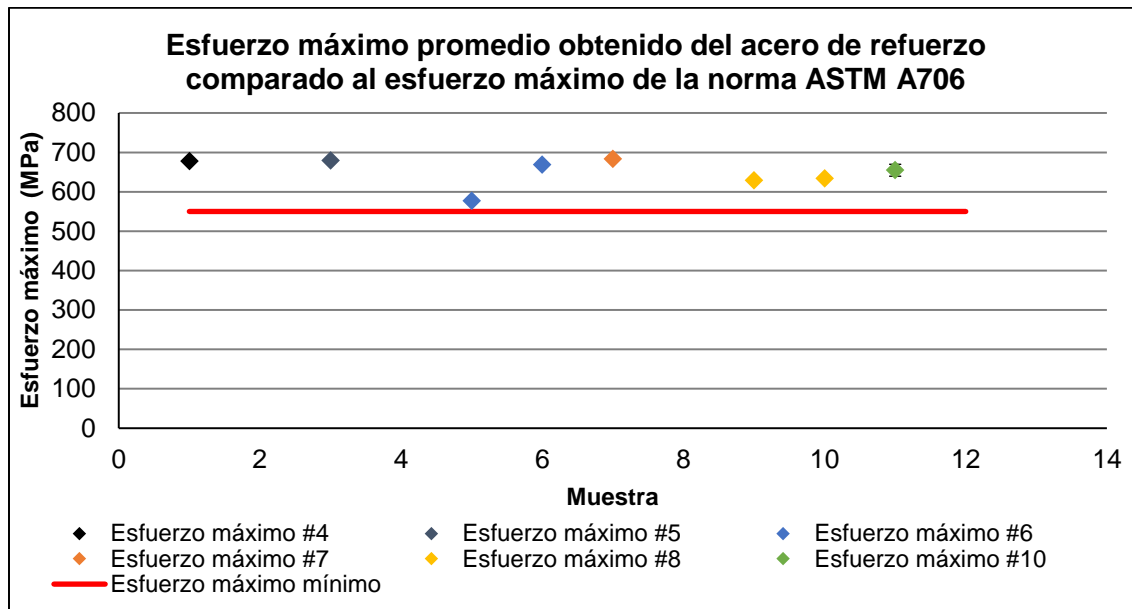
Fuente: LanammeUCR

Se muestran a continuación los gráficos correspondientes a los parámetros anteriores para el acero ensayado por el LanammeUCR:



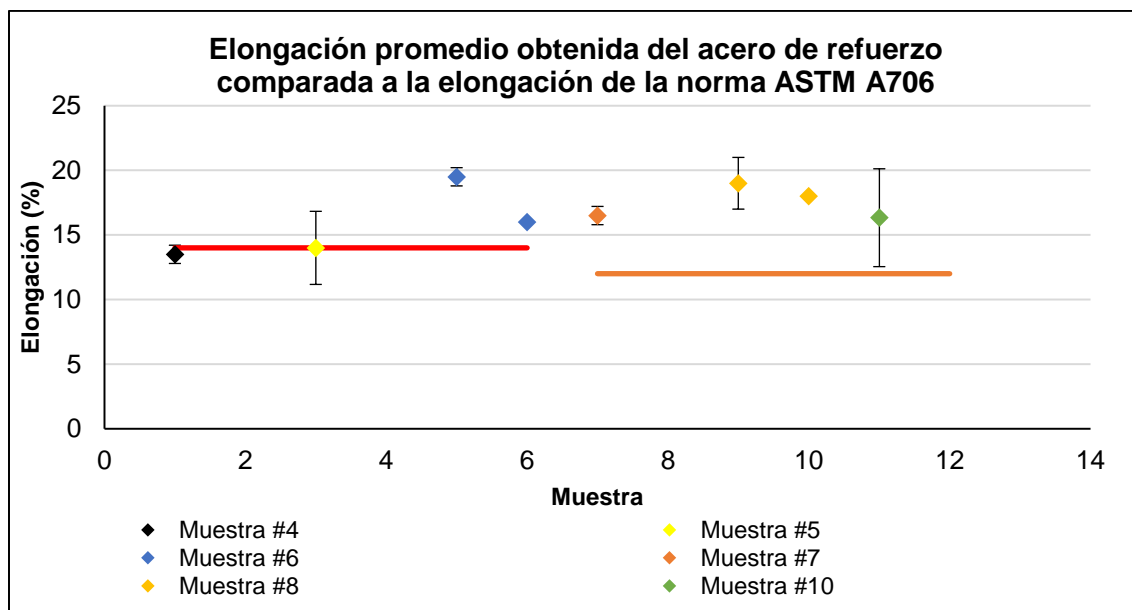
**Gráfico 17.** Esfuerzo de fluencia promedio para el acero de refuerzo ensayado por el LanammeUCR

Se observa que para todos los diámetros se obtuvieron esfuerzos de fluencia mayores al límite mínimo y que la dispersión en general es baja excepto para las varillas #5 y #10.



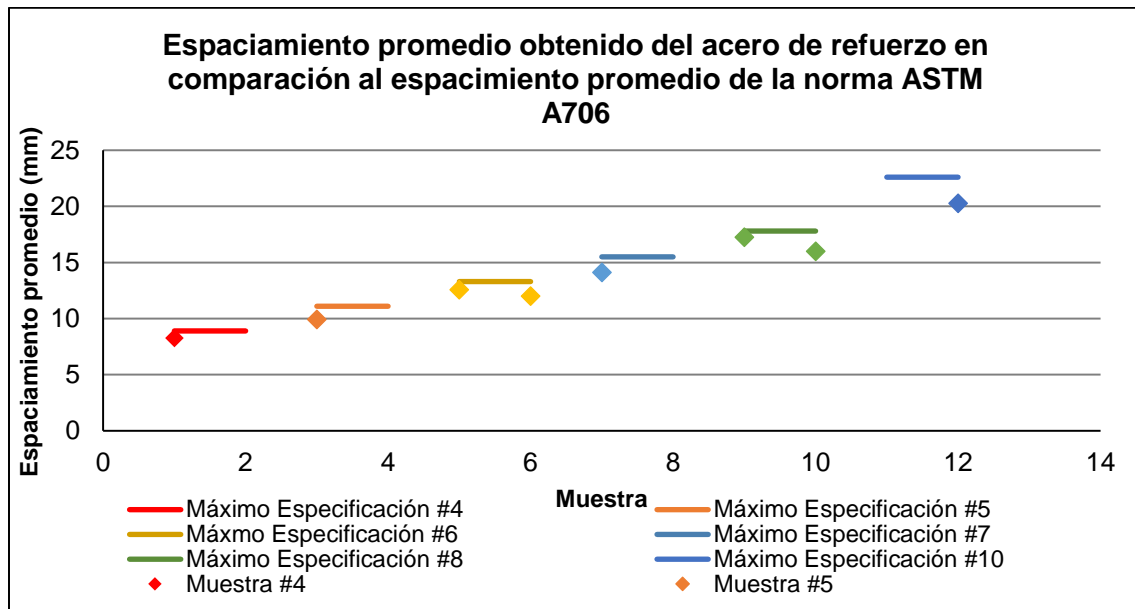
**Gráfico 18.** Esfuerzo máximo promedio para el acero ensayado por el LanammeUCR

Al igual que para el esfuerzo de fluencia, todas las muestras quedaron por encima del límite mínimo para el esfuerzo máximo promedio, solo que en este caso la mayor desviación estándar solo la presentó la muestra de varilla #10.



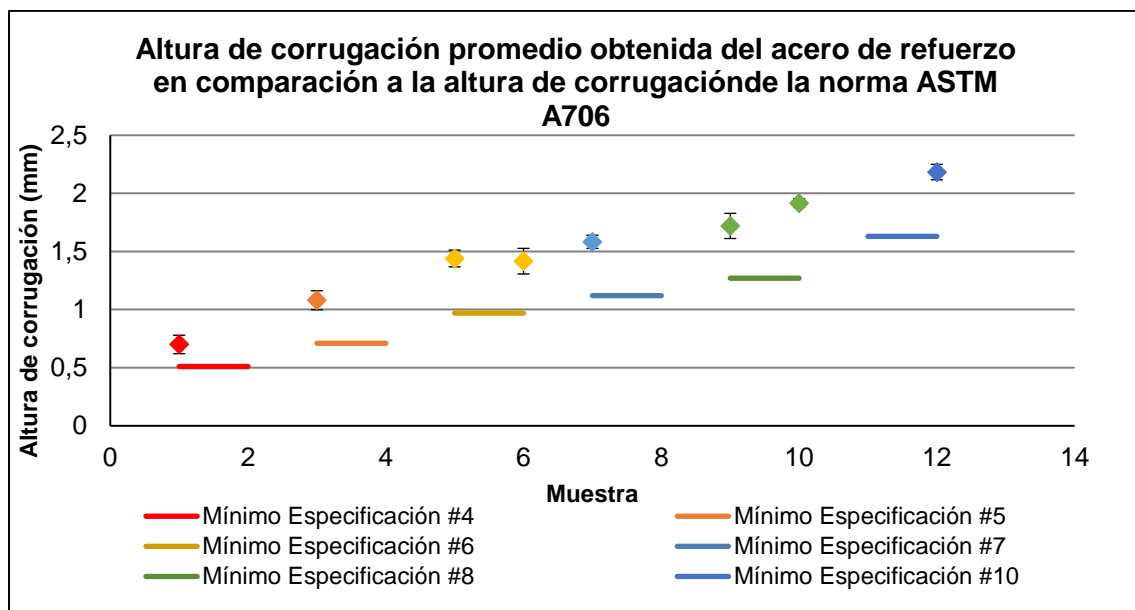
**Gráfico 19.** Elongación promedio para el acero ensayado por el LanammeUCR

Los valores de elongación para las varillas #4 y #5 quedaron muy cercanos al límite inferior, mientras que el resto de las muestras estuvieron por encima con una desviación estándar marcada para los diámetros #5, #8 y #10 (Gráfico 19). De esta prueba es importante mencionar que no todas las muestras fallaron dentro de la longitud permitida por lo que algunos datos de elongación se excluyeron de este análisis.



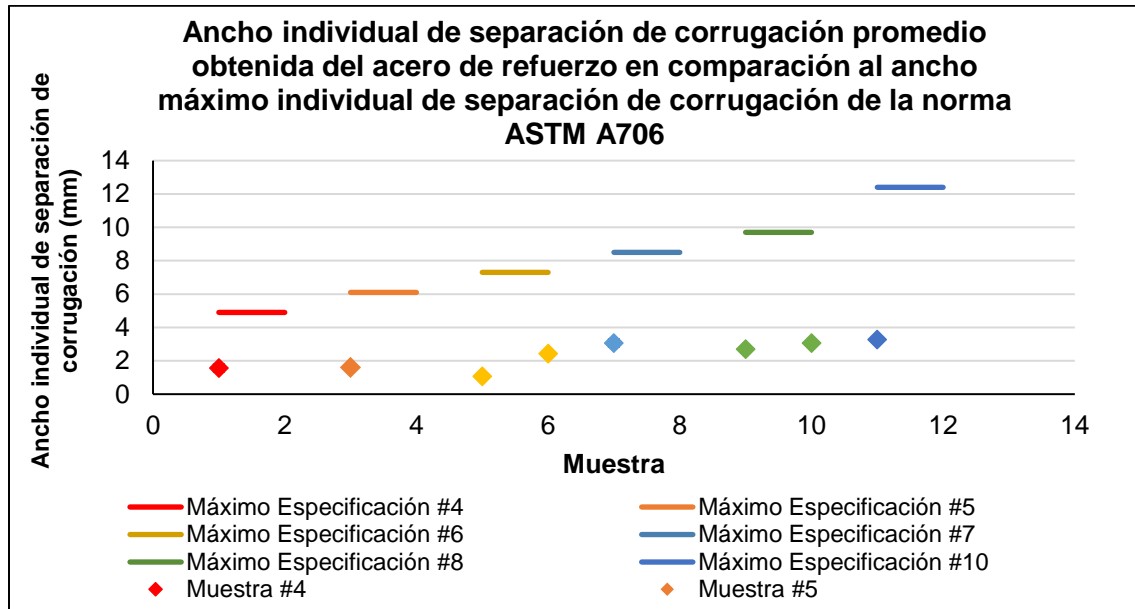
**Gráfico 20.** Espaciamiento promedio del acero ensayado por el LanammeUCR

En el caso del espaciamiento promedio, todas las muestras ensayadas por el LanammeUCR se encuentran por debajo del límite máximo dentro de su respectivo diámetro.



**Gráfico 21.** Altura de corrugación promedio para el acero ensayado por el LanammeUCR

Si bien todas las muestras cumplen con la altura de corrugación promedio, se encuentra una desviación estándar notoria entre sus resultados para la mayoría.



**Gráfico 22.** Ancho individual de separación de corrugación para el acero ensayado por el LanammeUCR

Para el parámetro del ancho individual de separación de corrugación, todas las muestras quedaron por debajo del límite superior.

#### Laboratorio de Verificación de Calidad

El laboratorio de verificación tomó una muestra de acero #4, #5, #8 y #10, y dos muestras de acero #6 y #7, cada muestra constituida por 3 varillas de las que se determinó el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último mediante la norma ASTM A370. En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados para obtener las características mecánicas del acero. Los valores resultantes son el promedio de cada muestra.

**Tabla 12.** Resultados de los ensayos de esfuerzo realizados por el laboratorio de verificación para el acero de refuerzo empleado en el proyecto

Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Diámetro	Grado	Resistencia a la tensión		
					Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo Máximo	Elongación
					Mín. 420 MPa	Mín. 550 MPa	Mín. 14 % (4-6) Mín. 12 % (7-10)
19-OTL-0756-7056	OTL-0756A1	16/08/2019	N°4	60	522	681	14
	OTL-0756A2						
	OTL-0756A3						
19-OTL-0757-7056	OTL-0757A1	16/08/2019	N°5	60	495	678	12
	OTL-0757A2						
	OTL-0757A3						
19-OTL-0758-7056	OTL-0758A1	16/08/2019	N°6	60	502	670	17
	OTL-0758A2						
	OTL-0758A3						
19-STL-0284-7056	STL-0284A1	31/07/2019	N°6	60	468	638	17
	STL-0284A2						
	STL-0284A3						
19-OTL-0759-7056	OTL-0759A1	16/08/2019	N°7	60	503	686	15
	OTL-0759A2						
	OTL-0759A3						
19-STL-0285-7056	STL-0285A1	31/07/2019	N°7	60	449	634	22
	STL-0285A2						
	STL-0285A3						
19-OTL-0760-7056	OTL-0760A1	16/08/2019	N°8	60	453	622	22
	OTL-0760A2						
	OTL-0760A3						
19-OTL-0761-7056	OTL-0761A1	13/08/2019	N°10	60	482	628	20
	OTL-0761A2						
	OTL-0761A3						

De la misma forma, se determinaron las propiedades de espaciamiento, altura de corrugación y ancho individual de separación de corrugación en conformidad a la norma ya mencionada, los resultados se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Resultados de las propiedades físicas del acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

Informe	Muestra	Fecha de muestreo	Diámetro	Grado	Espaciamiento		Altura de corrugación		Ancho individual de separación de corrugación	
					Muestras (mm)	Máx. (mm)	Muestras (mm)	Mín. (mm)	Muestras (mm)	Máx. (mm)
19-OTL-0756-7056	OTL-0756A1	16/08/2019	N°4	60	8,3	8,9	0,60	0,51	1,5	4,9
	OTL-0756A2									
	OTL-0756A3									
19-OTL-0757-7056	OTL-0757A1	16/08/2019	N°5	60	9,9	11,1	0,92	0,71	1,7	6,1
	OTL-0757A2									
	OTL-0757A3									
19-OTL-0758-7056	OTL-0758A1	16/08/2019	N°6	60	12,0	13,3	1,61	0,97	2,6	7,3
	OTL-0758A2									
	OTL-0758A3									
19-STL-0284-7056	STL-0284A1	31/07/2019	N°6	60	12,4	13,3	1,44	0,97	2,4	7,3
	STL-0284A2									
	STL-0284A3									
19-OTL-0759-7056	OTL-0759A1	16/08/2019	N°7	60	14,1	15,5	1,79	1,12	3,2	8,5
	OTL-0759A2									
	OTL-0759A3									
19-STL-0285-7056	STL-0285A1	31/07/2019	N°7	60	14,9	15,5	1,36	1,12	3,3	8,5
	STL-0285A2									
	STL-0285A3									
19-OTL-0760-7056	OTL-0760A1	16/08/2019	N°8	60	17,2	17,8	1,77	1,27	2,9	9,7
	OTL-0760A2									
	OTL-0760A3									
19-OTL-0761-7056	OTL-0761A1	13/08/2019	N°10	60	20,4	22,6	2,24	1,63	3,5	12,4
	OTL-0761A2									
	OTL-0761A3									

Como se puede apreciar en la Tabla 13, las muestras para todos los diámetros de acero denotan resultados dentro de los límites al compararse con los valores especificados por la norma ASTM A706, tal y como lo hicieron las muestras ensayadas por el LanammeUCR. Además de esto, el equipo de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) realizó un análisis estadístico para los resultados del esfuerzo de fluencia y esfuerzo último que, este se muestra en la Tabla 14.

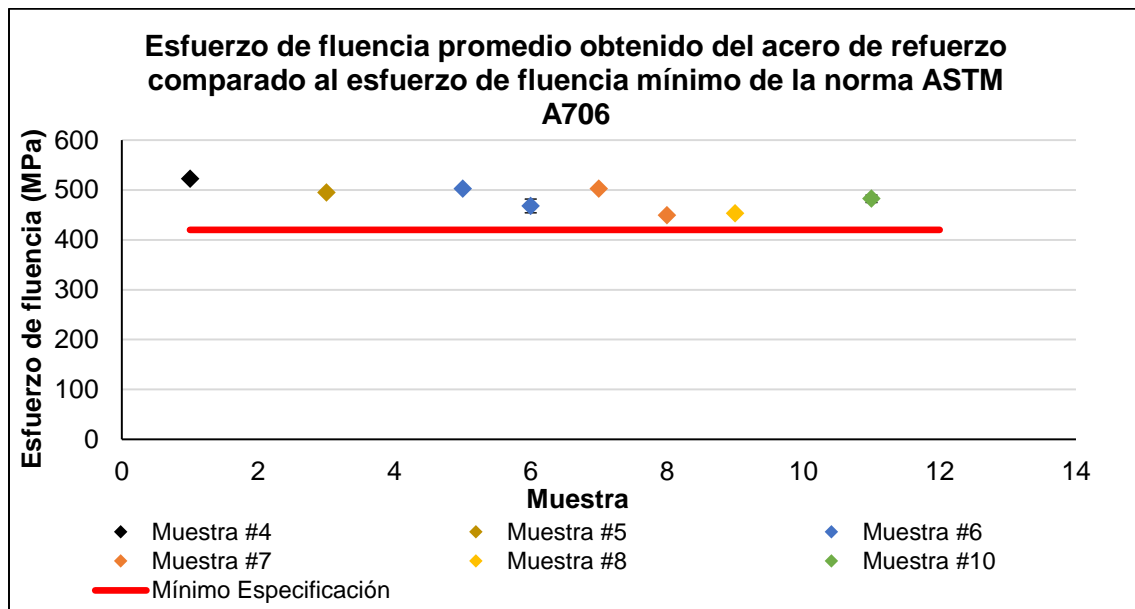


**Tabla 14.** Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

Descripción	Especificación ASTM A706	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Esfuerzo de fluencia	Mín. 420 MPa	8	2,095	46,438
Esfuerzo máximo	Mín. 550 MPa	8	0,281	46,438

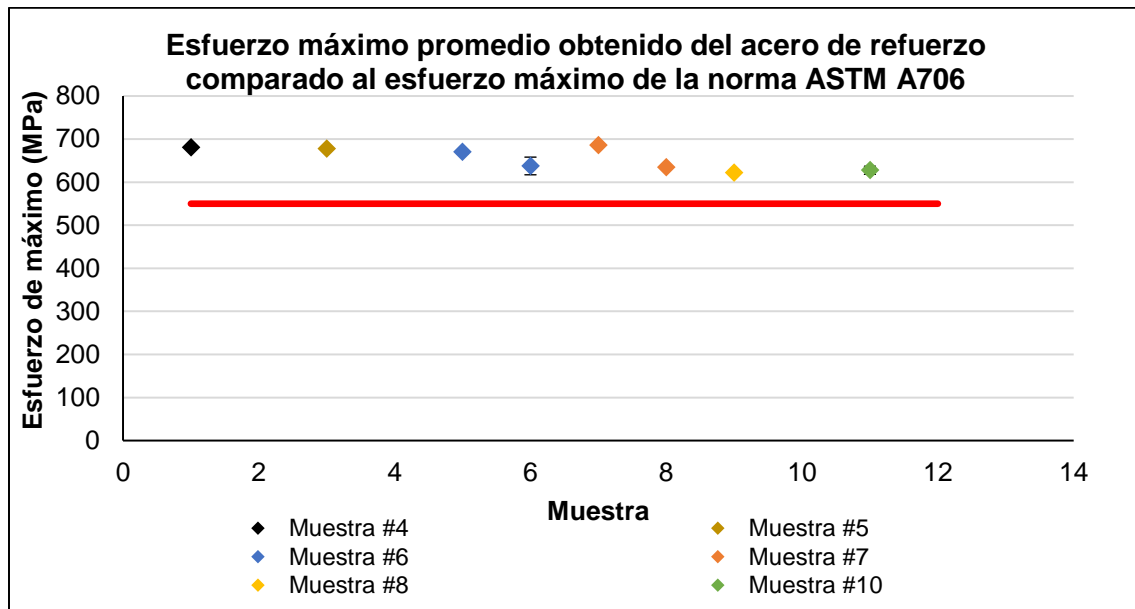
Aquí se aprecia que, de las propiedades con la suficiente cantidad de datos para entrar en el análisis, ninguna de las dos presenta valores de PFL más allá del máximo permitido por el CR-2010.

Se muestran a continuación los gráficos respectivos de los parámetros anteriores para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación:

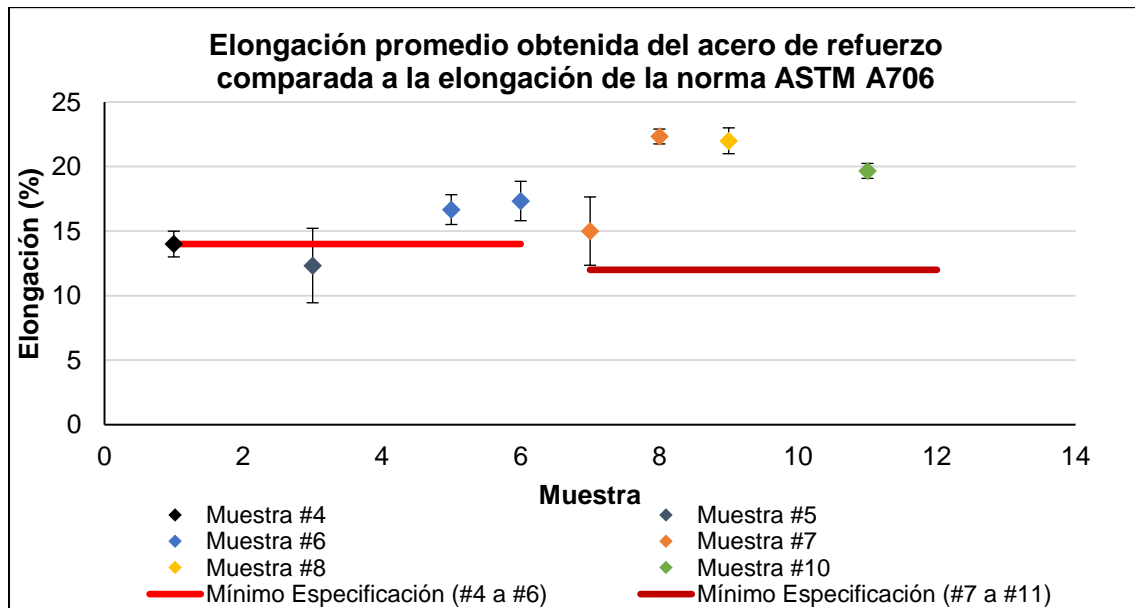


**Gráfico 23.** Esfuerzo de fluencia promedio para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

Se observa en este caso (Gráfico 23) que todas las muestras poseen un esfuerzo de fluencia mayor al límite inferior de la especificación con una variabilidad baja que aumenta para los casos de #7 y #8. Por otra parte, el comportamiento mostrado por las varillas para el caso del esfuerzo máximo (Gráfico 24) es similar al anterior, es decir, todas superiores al límite inferior con algo de variabilidad en algunos casos. De la misma forma, es pertinente recalcar que las muestras ensayadas por parte del laboratorio de verificación se comportaron de manera similar a las muestras ensayadas por el LanammeUCR para estas dos características mecánicas.

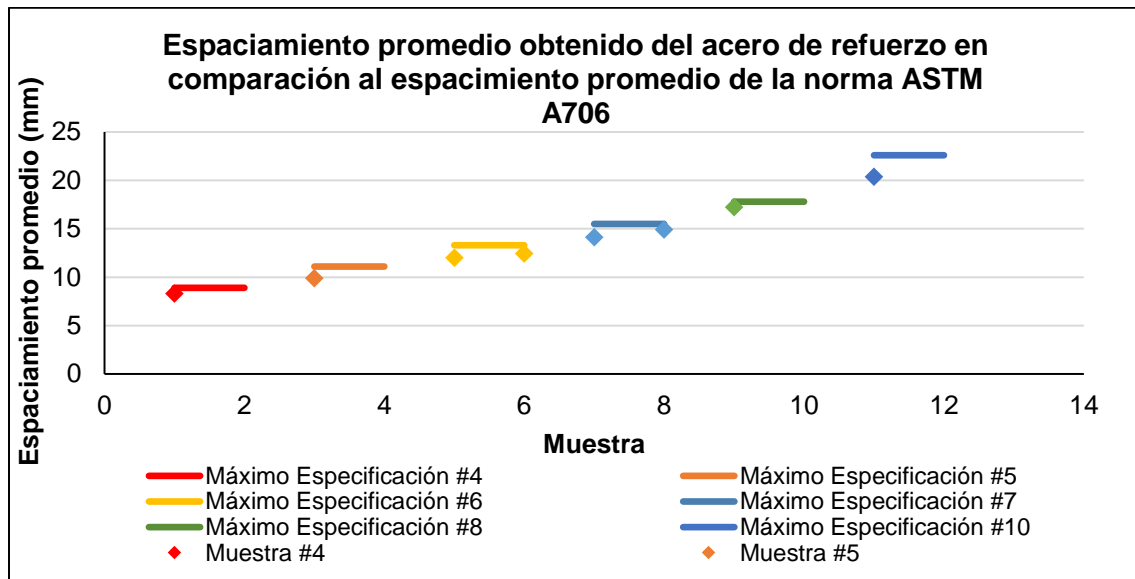


**Gráfico 24.** Esfuerzo máximo promedio para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación



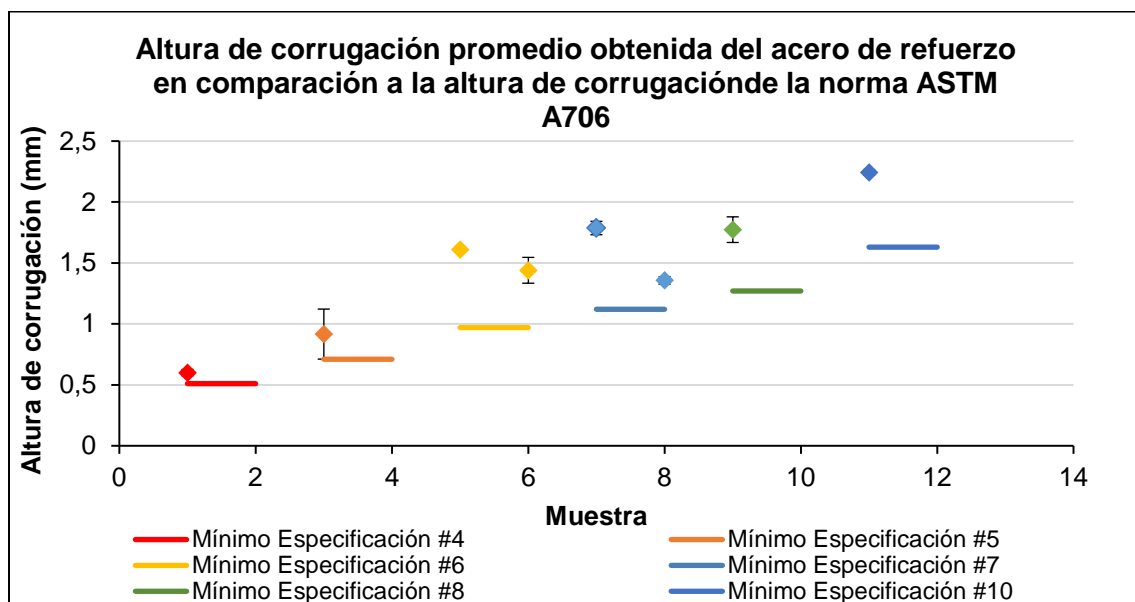
**Gráfico 25.** Elongación promedio para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

En el Gráfico 25, se muestra que la varilla #5 se encuentra por debajo del valor mínimo de elongación establecido en la normativa vigente. Por otra parte, las demás muestras quedaron por encima del límite superior con resultados muy dispersos entre sí, tal y como sucedió con los resultados del LanammeUCR. De la misma manera, las desviaciones estándar marcadas en las muestras denotan el comportamiento irregular de los datos.



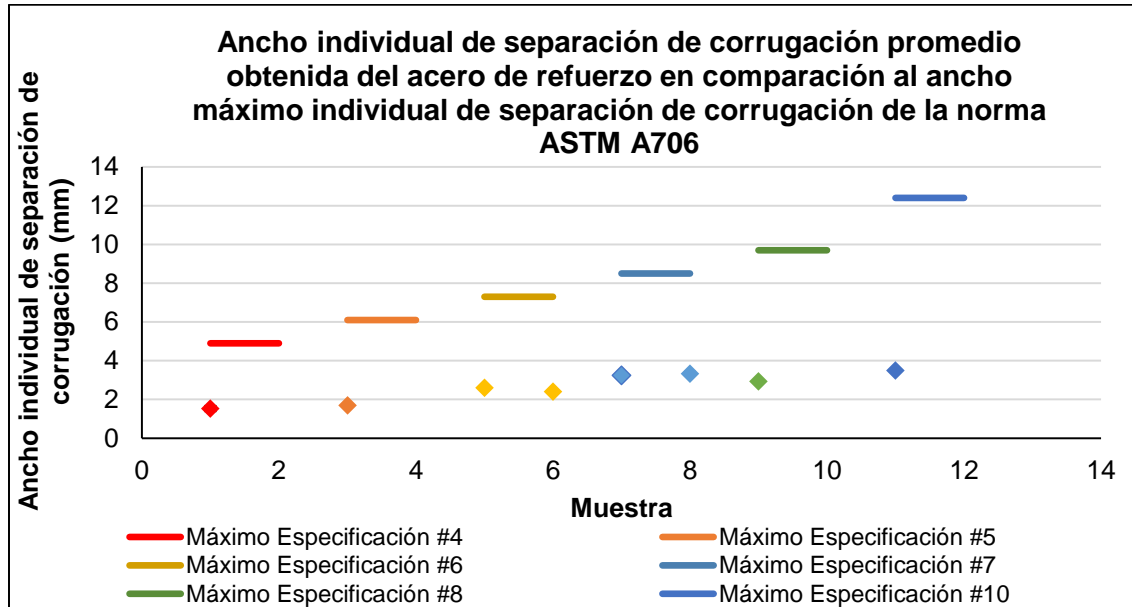
**Gráfico 26.** Espaciamiento promedio del acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

En el Gráfico 26, se observa un comportamiento similar de las muestras obtenidas por el laboratorio de verificación al encontrado por parte del LanammeUCR, en el que para el caso del espaciamiento promedio todas las muestras quedaron por debajo de límite superior y con una desviación estándar imperceptible a nivel gráfico. En el caso de la altura de corrugación promedio, del Gráfico 27, se aprecia que todas las muestras quedaron por encima del límite inferior, sin embargo, entre ellas se presenta una mayor dispersión que para los datos reportados por parte del LanammeUCR. Las desviaciones estándar visibles en el Gráfico 27 confirman la tendencia descrita.



**Gráfico 27.** Altura de corrugación promedio para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

En el caso del ancho individual de separación de corrugación, el Gráfico 28 muestra, al igual que para otras propiedades, un comportamiento similar entre los reportados por el laboratorio de verificación y el LanammeUCR, aquí se observa que todas las muestras están por encima del límite inferior con una dispersión baja entre ellas y nula desviación estándar.



**Gráfico 28.** Ancho individual de separación de corrugación para el acero de refuerzo ensayado por el laboratorio de verificación

Es criterio del equipo auditor que después de analizar los distintos parámetros físicos y mecánico de las muestras de las varillas del proyecto, éstas se encuentran dentro de los límites especificados en la norma ASTM 706 “Especificación Normalizada para Barras de Acero de Baja Aleación Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto”, tanto para los datos del LanammeUCR como para el laboratorio de verificación de calidad.

## 10. CONCLUSIONES

En general se evidenciaron algunos incumplimientos puntuales en la calidad del concreto. Al realizar el análisis estadístico del concreto 357 kg/cm<sup>2</sup> y del concreto 286 kg/cm<sup>2</sup>, se determinó que el parámetro de asentamiento muestra una variación mayor a la máxima permitida por la sección 107.05 del CR-2010. También se encontraron prácticas contrarias a la norma de muestreo de concreto fresco, así como aspectos que se deben mejorar en la compactación del concreto como en el monitoreo de la tasa de evaporación en las losas de concreto.

**10.1** Se evidenciaron prácticas contrarias a lo indicado en la norma INTE 06-01-05 “Práctica Normalizada para muestreo de concreto recién mezclado”, ya que no se tomaba la muestra de concreto en la porción media, lo cual puede afectar la representatividad de la muestra de concreto



- 10.2** Durante la etapa de colocación de concreto en la losa dovela 0, se evidenció que se usaba el vibrador de manera inadecuada, lo cual puede incidir en la porosidad del concreto, así como en la adherencia del mismo al acero de refuerzo.
- 10.3** Además, durante la colada de la losa dovela 0, se evidenció que no se monitoreaba la tasa de evaporación del concreto durante la colocación en losas.
- 10.4** La resistencia a la compresión de la mezcla  $357 \text{ kg/cm}^2$  destinada a los elementos de las pilas se encuentra dentro de los límites especificados para la resistencia establecida en el diseño de mezcla debido a que, con las muestras ensayadas por el LanammeUCR, se obtuvo un porcentaje fuera de los rangos de trabajo (PFL) de 16,492 % que es menor al máximo permitido por el CR-2010 en la sección 107.05 de 39,883%.
- 10.5** Para este mismo concreto se encontró que los requerimientos de contenido de aire y temperatura de colocación de la mezcla se encuentran dentro de los límites especificados en el diseño de mezcla.
- 10.6** En el caso del asentamiento de la mezcla de  $357 \text{ kg/cm}^2$ , se tiene que algunos valores se encontraban fuera de los límites especificados. Al hacer el análisis estadístico, el lote evaluado se encontraba fuera de los límites indicados en el diseño de mezcla; por lo que este parámetro debe ser evaluado para asegurar la adecuada consistencia del concreto durante la colocación del mismo.
- 10.7** La resistencia a la compresión de la mezcla  $286 \text{ kg/cm}^2$  destinada a los elementos de los bastiones se encuentran dentro de los límites establecidos en el diseño de mezcla debido a que, con las muestras ensayadas por el LanammeUCR y el laboratorio de verificación, se obtuvo un porcentaje fuera de los rangos de trabajo (PFL) de 4,434 % que es menor al máximo permitido por el CR-2010 en la sección 107.05 de 50,000 %. Para este mismo concreto, se encontró que los parámetros medidos de contenido de aire y temperatura de colocación se encuentran dentro de los límites definidos por la normativa vigente y el diseño de mezcla provisto por el contratista.
- 10.8** El acero de refuerzo del proyecto Duplicación del Puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 32, ensayado por el LanammeUCR y el laboratorio de verificación de calidad, se encuentra dentro de los parámetros solicitados para todos los casos.

## 11. RECOMENDACIONES

Le corresponde a la Administración definir e implementar las medidas correctivas y preventivas pertinentes, que contribuyan a subsanar los hallazgos y observaciones planteados en el presente informe. A continuación, se indican algunas recomendaciones.

### A la Unidad Ejecutora y la Ingeniería de Proyecto.

- 11.1** Velar por el correcto muestreo del concreto en apego a la Norma INTE 06-01-05 “Práctica Normalizada para muestreo de concreto recién mezclado”, con el fin de asegurar que la muestra tomada sea representativa del concreto colocado.
- 11.2** Velar por la medición de la tasa de evaporación con el fin de tomar las medidas preventivas para evitar la contracción plástica en el concreto.
- 11.3** Exigir un mayor control del asentamiento del concreto fresco, ya que se observaron varios valores fuera de los límites especificados para este parámetro.



- 11.4 Velar por la ejecución de prácticas de vibrado en apego al ACI 309R-05, con el fin de asegurar la correcta remoción del aire atrapado en el concreto recién colocado.

## 12. REFERENCIAS

- ASTM International. (2014). *Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement*. Pennsylvania.
- Cervantes-Calvo, V., & Fonseca-Chaves, F. (2014). *LM-PI-AT-07-14: EVALUACIÓN de la calidad de los materiales, procesos constructivos y laboratorios de calidad*. San José.
- Cervantes-Calvo, V., & Fonseca-Chaves, F. (2014). *LM-PI-AT-62-2014 Evaluación de la calidad de los materiales y procesos constructivos proyecto: Diseño y Construcción de 18 Puentes en la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, Sección: Cañas-Liberia*. San José.
- Cervantes-Calvo, V., Fonseca-Chaves, F., Sequeira-Rojas, W., & Loria-Salazar, L. G. (2015). *LM-PI-AT-008-15 Evaluación de la calidad de los materiales y aspectos constructivos. Proyecto: Diseño y Construcción de Tres Intercambios (A. Cañas, B. Bagaces y C. Liberia) en la Carretera Interamericana Norte. Sección: Cañas-Liberia RN 1*. San José: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA).
- Instituto Americano del Concreto. (2001). *Especificaciones y tolerancias para materiales y construcciones de concreto ACI 117-01*. Ciudad de México: Imcyc.
- Instituto Americano del Concreto. (2005). *ACI 301S-10 Especificaciones para concreto estructural*. ACI.
- Instituto Americano del Concreto. (2006). *Especificaciones para concreto estructural ACI 301-05*. Ciudad de México: Imcyc.
- Instituto Americano del Concreto. (2007). *Manual para Supervisar Obras de Concreto ACI 311-07*. Ciudad de México: IMCYC.
- Instituto Americano del Concreto. (2007). *ACI 309R-05 "Compactación de concreto"*. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Instituto Americano del Concreto. (2008). *Requisitos para Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08)*. Ciudad de México: Imcyc.
- Instituto Americano del Concreto. (2010). *Manual del Técnico Publicación CP-1S*. Farmington Hills, Michigan: ACI.
- MOPT. (2010). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes*. San José.
- Neville, A. (2010). *Tecnología del Concreto*. Reino Unido: Pearson.




<b>Preparado por:</b> <b>Ing. Francisco Fonseca Chaves</b> <b>Auditor técnico</b>	<b>Revisado por:</b> <b>Ing. Erick Acosta Hernández</b> <b>Auditor técnico</b>	<b>Ing. Mauricio Picado Muñoz</b> <b>Auditor técnico</b>
<b>Revisado y aprobado por:</b> <b>Ing. Wendy Sequeira Rojas</b> <b>Coordinadora Unidad de Auditoría Técnica</b>		<b>Aprobado por:</b> <b>Ing. Alejandro Navas Carro</b> <b>Director General</b> <b>LanammeUCR</b>



## 13. ANEXOS

### Anexo 1. Análisis del descargo

	Universidad de Costa Rica <b>Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales</b>	Referencia: <b>ANEXO 21</b>
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: <b>1</b>
Consecutivo:		Página: 116

#### 1. Nombre Informe

LM-AT-0043-19 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES, PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD PROYECTO: Duplicación del Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 32.

#### 2. Descargo

El día 29 de enero de 2020, se recibe en las instalaciones del LanammeUCR el oficio POE-01-2020-0067, remitido por Ing. Oldemar Sagot Gonzalez como descargo al Informe en versión preliminar LM-AT-43B-2019.

Como parte del descargo, se adjunta el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM (de fecha 28 de enero de 2020), donde UNOPS brinda descargo al Informe.

#### 3. Análisis del descargo

**Hallazgo 1. Los laboratorios de control y verificación de calidad no se apegan al proceso de muestreo de concreto fresco establecido en la norma INTE 06-01-05.**

En el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM, se indica que se han tomado medidas en el proyecto para asegurar el cumplimiento de las normas de muestreo a raíz de lo indicado en el oficio LM-IC-D-0476-19 del 28 de junio de 2019. Sin embargo, como constató el equipo auditor el día 27 de noviembre de 2019 el laboratorio de autocontrol realizaba algunos muestreos de manera distinta a la especificada como si lo realizó el laboratorio de verificación de calidad durante la visita realizada. Es importante recordar que la auditoría técnica es una fotografía del momento por lo que lo observado por el equipo auditor queda plasmado en el Informe de auditoría. El Hallazgo se mantiene.

**Hallazgo 2. No hay evidencia de un monitoreo de la tasa de evaporación del concreto durante el colado de las losas del puente.**

En el oficio UNOPS-90413-20200128-013-TM, se indica que la observación planteada es acertada, sin embargo, también indican que están haciendo mediciones para verificar la conveniencia de utilizar el nomograma expuesto en la sección 552 del CR-2010. Además, indican que se estableció colocar una barrera cortaviento para utilizar durante el proceso de colado y curado del concreto. Es criterio del equipo auditor que se debe utilizar el nomograma propuesto por en el CR2010 ya que este es de aplicación obligatoria. El Hallazgo se mantiene sin embargo se agregará la medida de las barreras cortaviento ya que es una medida aceptada para reducir la tasa de evaporación.

**Observación 1. Se evidenciaron prácticas constructivas inadecuadas durante la colocación de concreto en las dovelas del proyecto.**

En el descargo se señala que tanto UNOPS como la Supervisora detectaron esos incumplimientos durante la colada del 10 de diciembre y fueron comunicados al contratista de manera inmediata. Además, señalan que, por el tipo de elemento, el cual contaba con una alta cantidad de acero de refuerzo y ductos de acero de preesfuerzo, lo cual dificulta la aplicación del vibrado por inmersión. Además, indican que a raíz de esto se realizaron charlas de refrescamiento sobre el adecuado vibrado por parte del Contratista. Es criterio del equipo auditor que el hecho de que el elemento en cuestión tenga una alta





 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: 1
Consecutivo:		Página: 216

concentración de acero no exige al Contratista de realizar buenas prácticas de compactación del concreto. La observación se mantiene, pero se agregará que se realizaron charlas de capacitación, así como el hecho de que la situación fue detectada por la Supervisión.

**Hallazgo 3.** El concreto colocado en los elementos de las pilas, con resistencia de 357 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, se encuentra dentro de los límites de la especificación de resistencia y temperatura de colocación establecidas en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, basado en las muestras tomadas por el LanammeUCR.

En el descargo presentado, UNOPS indica que las variaciones en el contenido de aire y en el revenimiento han sido detectadas por el equipo del proyecto. Además, indica que el contenido de hielo fue ajustado para mantener contenidos mínimos de agua líquida y garantizar un comportamiento uniforme en el contenido de aire del concreto. De manera similar, indica que para garantizar que el revenimiento se mantiene dentro de los rangos establecidos para el proyecto se han tomado dos medidas: 1) Protección de los agregados en los centros de producción de concreto. 2) Rechazar los camiones que reportan revenimientos de concreto fuera del rango requerido según el diseño aprobado. El Hallazgo se mantiene, pues el descargo no afecta el contenido del mismo; sin embargo, se añaden las medidas tomadas por el equipo del proyecto para disminuir las variaciones en el contenido de aire y en el revenimiento.

**Hallazgo 4.** El concreto colocado en los elementos de los bastiones, con resistencia de 286 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, se encuentra dentro de los límites de las especificaciones de resistencia y temperatura de colocación establecidas en el Manual de Especificaciones para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010

En el descargo presentado, UNOPS indica que, según el oficio CV32-088-2019 (de fecha 10 de julio de 2019), el revenimiento de diseño es de 17,5 cm y fue hasta el 12 de setiembre de 2019, mediante el oficio CV32-123-2019, que se cambió el revenimiento a 22 cm. Es de recibo el descargo brindado, por lo que se modifica la Tabla 4, la Tabla 5, el Gráfico 6, la Tabla 9 y la Gráfica 14 como se muestra a continuación:

Tabla 4. Resultados de las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de los bastiones con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

No. Informe	Identificación de muestra	Fecha de muestreo	Elemento	Asentamiento (mm)	Temperatura de la mezcla (°C)	Contenido de Aire (%)	Resistencia promedio a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
I-1987-19	M-1452-19	23/07/2019	Bastión 1, Columna	180	22,5	1,9	389

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: 1
	Consecutivo:	Página: 316	

I-1587-19	M-1453-19	23/07/2019	Bastión 1, Columna	180	23,5	1,9	344
I-1701-19	M-1631-19	20/08/2019	Bastión 1, Muro interno, fase 2	193	24,6	2,9	436
I-1969-19	M-2088-19	09/10/2019	Bastión 2, Alzado	193	23,8	4,2	456
I-1969-19	M-2090-19	09/10/2019	Bastión 2, Alzado	205	23,1	3,7	507

Tabla 5. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el LanammeUCR del concreto de los bastiones con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 30) °C	3	0,061	30,000
Asentamiento	Varía según diseño de mezcla	3	La cantidad de muestras por diseño de mezcla es insuficiente para realizar el análisis estadístico.	
Contenido de aire	(1 a 5) %	3	12,741	30,000
Resistencia a la compresión	Mínimo de 286 kg/cm <sup>2</sup>	3	4,434	30,000

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: <b>ANEXO 21</b>
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: <b>1</b>
Consecutivo:		Página: 4/6	

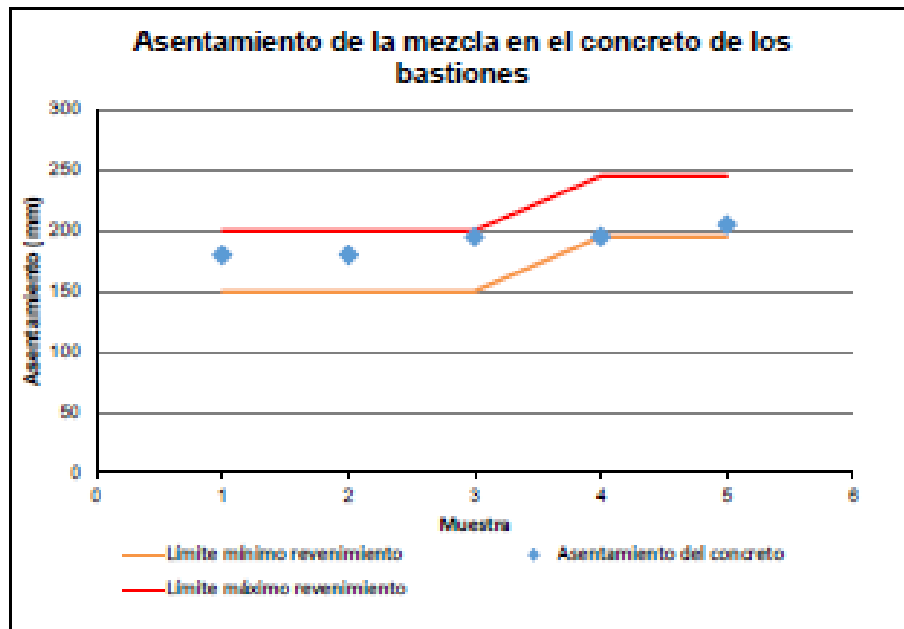


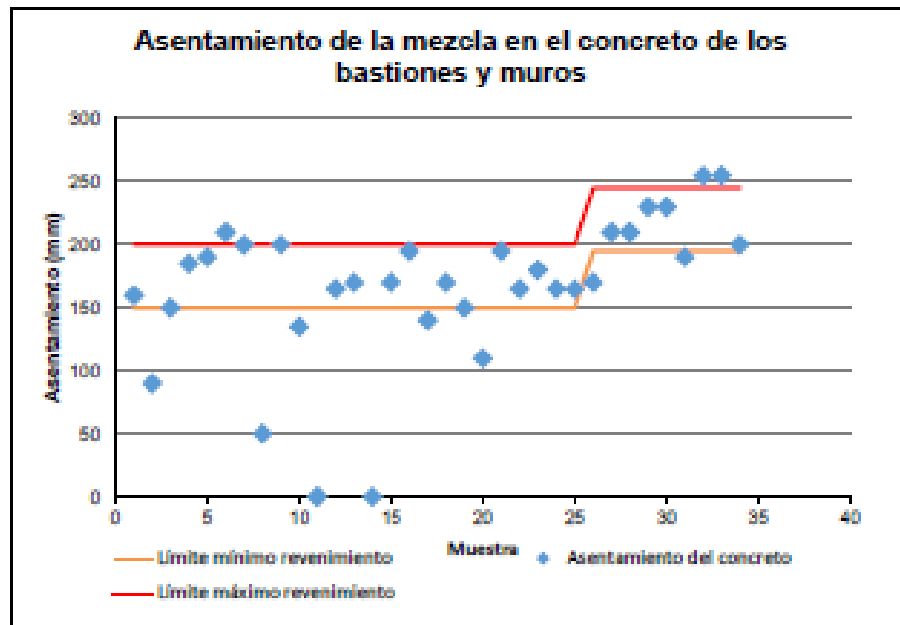
Gráfico 6. Asentamiento de la mezcla de concreto en los bastiones

Tabla 9. Análisis estadístico del porcentaje fuera de los rangos estimados para las muestras ensayadas por el laboratorio de verificación del concreto de los bastiones y muros con resistencia a compresión de 286 kg/cm<sup>2</sup>

Descripción	Especificación	Número de muestras (n)	Porcentaje estimado de datos fuera de los límites de especificación (%)	Máximo porcentaje fuera de los límites de especificación permitido (%)
Temperatura de colocación en elementos de concreto que no forman parte de la losa	(10 a 30) °C	32	2,854	35,932

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: 1
Consecutivo:		Página: 5/6	

Asentamiento	(150 a 200) mm	23	54,088	38,435
	(195 a 245) mm	9	41,086	45,545
Contenido de aire	(1 a 5) %	27	1,636	37,220
Resistencia a la compresión	Mínimo de 286 kg/cm <sup>2</sup>	48	8,862	32,839



Gráfica 14. Asentamiento de la mezcla de concreto en los bastiones ensayada por el laboratorio de verificación

**Hallazgo 5.** Las varillas del acero de refuerzo utilizado en los elementos estructurales del proyecto se encuentran dentro de los requisitos establecidos en la norma ASTM A706 en cuanto a sus características mecánicas y físicas.

No se brinda descargo a este hallazgo, por lo cual se mantiene.

Como parte de su descargo, UNOPS brinda una serie de comentarios generales al contenido del Informe que se resumen a continuación:

	<b>Universidad de Costa Rica</b> <b>Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales</b>	<b>Referencia:</b> <b>ANEXO 21</b>
	<b>Unidad de Auditoría Técnica</b> <b>Análisis del Descargo</b>	<b>Versión:</b> <b>1</b>
	<b>Consecutivo:</b>	<b>Página:</b> 6/6

- Se indica que variaciones de revenimiento no necesariamente implican "problemas de trabajabilidad en la mezcla", pues se deben a adaptaciones de la mezcla a las condiciones de colocación.

En el caso al que se hace referencia en el descargo (Gráfico 2 del informe), varios de los asentamientos obtenidos son menores al rango establecido en el diseño de mezcla. Un asentamiento bajo puede generar un concreto poco trabajable y que ello genere segregaciones que afecten la calidad final del concreto. Ante esta posibilidad, se mantiene la afirmación realizada por el equipo auditor, de manera que se tomen las medidas para garantizar que el concreto se mantenga dentro los rangos establecidos según el diseño de mezcla del concreto.

Además, es criterio del equipo auditor que las variaciones mencionadas en el asentamiento del concreto por condiciones de colocación deben verse reflejadas en un diseño de mezcla que garantice que estas variaciones no afectan los demás parámetros del diseño de mezcla.

- Se indica que el cálculo y presentación del FPL es una práctica inadecuada e incorrecta debido a que no forma parte de las especificaciones técnicas ni contrato de las obras. La utilización del FPL para concluir que un lote debe ser rechazado es incorrecta y genera calificaciones desatinadas sobre la calidad de las obras.

La aclaración es de recibo y se modificará el contenido del informe para aclarar que la herramienta estadística FPL no forma parte del marco contractual del proyecto. Además, se modificará toda aquella conclusión donde, por error, y a partir de los resultados del FPL obtenidos, se determinó la aceptación o rechazo de algún lote analizado.

	Nombre y Puesto	Firma	Fecha
Preparó:	Ing. Mauricio Picado Muñoz Auditor técnico LanammeUCR	MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por MAURICIO ESTEBAN PICADO MUÑOZ (FIRMA) Fecha: 2020.05.11 17:03:49 -06'00'</small>	07/05/2020
Revisó:	Ing. Francisco Fonseca Chaves Auditor técnico LanammeUCR	FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por FRANCISCO FONSECA CHAVES (FIRMA) Nombre de usuario: FRANCISCO FONSECA CHAVES Fecha: 2020.05.11 17:03:49 -06'00'</small>	07/05/2020
Aprobó:	Ing. Wendy Sequeira Rojas Coordinadora UAT LanammeUCR	WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) <small>Firmado digitalmente por WENDY SEQUEIRA ROJAS (FIRMA) Fecha: 2020.05.11 06:14:45 -06'00'</small>	11/05/2020