



UNIVERSIDAD CIENTIFICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

**“EVALUACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO MASIVO DE LA OBRA
PUENTE NANAY, IQUITOS – 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR (es): Adrián Ramírez Gil

Gerhard Lirio Vásquez García

Universidad Científica del Perú
Laboratorio Mecánico de Suelos

LILIANA BAUTISTA SERPA
CIP N° 43873
INGENIERO CIVIL

ASESORA: Mg. Liliana Bautista Serpa

Región LORETO, Perú

2023

DEDICATORIA

A Dios por ser el que siempre nos guía y fortalece nuestra vida personal y profesional.

Los autores

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres por ser quienes han hecho posible la ejecución de esta investigación, asimismo a la Universidad Científica del Perú por habernos permitido ampliar y profundizar nuestras convicciones profesionales.

Los autores



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"EVALUACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO MASIVO DE LA OBRA
PUENTE NANAY, IQUITOS – 2023"**

De los alumnos: **ADRIÁN RAMÍREZ GIL Y GERHARD LIRIO VÁSQUEZ GARCÍA**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **12% de similitud**. Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 16 de febrero del 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge L. Tapullima Flores', is written over a large, light blue oval stamp.

Mgr. Arq. Jorge L. Tapullima Flores
Presidente del Comité de Ética – UCP

Resultado_UCP_IngenieriaCivil_2023_Tesis_AdriánRamírez_y...

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	vdocuments.es Fuente de Internet	1%
6	doczz.es Fuente de Internet	1%
7	revista-ps.costosperu.com Fuente de Internet	1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
9	www.infociments.fr Fuente de Internet	



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Adrián Ramírez Gil
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	Resultado_UCP_IngenieriaCivil_2023_Tesis_AdriánRamírez_y_...
Nombre del archivo:	IS_ADRI_NRAM_REZ_Y_GERHARDV_SQUEZ_RESUMEN_RECOM...
Tamaño del archivo:	6.26M
Total páginas:	157
Total de palabras:	41,105
Total de caracteres:	155,684
Fecha de entrega:	16-feb.-2024 12:52p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega...	2296513067

RESUMEN

En la ciudad de Iquitos, desde el año 2017 se llevó a cabo la obra del proyecto de inversión pública "CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO I: BELLAVISTA – SANTO TOMÁS (PUENTE NANAY Y VIADUCTOS DE ACCESO)" que forma parte del proyecto "CONSTRUCCION DE LA CARRETERA BELLAVISTA - MAZAN - SALVADOR - ELESTRECHO", con Código SNIP 396, tiene como Unidad Formuladora al Proyecto Especial Binacional Desarrollo Integral de la Cuenca del río Putumayo, PEDICP, del Ministerio de Agricultura, y como Unidad Ejecutora al MTC - PROVIAS descentralizado (PVD). Inicia en Bellavista, en la Av. La Marina, cruza el río Nanay y termina en el poblado de Santo Tomás.

Cuando se trata de concreto masivo la principal diferencia que se presenta frente a un concreto distinto, es su comportamiento térmico. Esto se debe a que, la baja conductividad térmica del concreto no permite que el calor generado en su interior se disipe rápidamente, causando diferencias altas de temperatura entre la cara expuesta del elemento y el interior. (1) Además, puede provocar temperaturas en el interior del elemento que puedan provocar reacción llamada Reacción interna del sulfato (RSI). El producto de esta reacción es Etringita Diferida (DEF), que puede provocar expansión del concreto, produciendo grietas y fisuras.

En la construcción del puente en gran escala se usó elementos estructurales del concreto masivo. En la tesis se pretende investigar tres estructuras, que son: Viga Cabezal del Pilar 27, Cabezales de Pilotes de Torre 1 y 2, donde se tomó junto con el Consorcio Puente Nanay las lecturas de las temperaturas del fraguado de dichos elementos. Para ello se usó termocuplas, tipo de medidores de temperatura embebidos dentro del concreto conectados con cables que salen a superficie por medio de tubos donde se conecta con un lector especial y tomar temperaturas. En el pilar 27 se usó tres termocuplas en el núcleo y tres en la superficie en las

XVI

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal **Nº1060-2022-UCP-FCEI** de fecha 11 de Noviembre de 2022, La FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Félix Wong Ramírez, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc. | Miembro |
| • Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Liliana Bautista Serpa, M. Sc.**

En la ciudad de Iquitos, siendo las 19:30 horas del día martes 05 de marzo del 2024, de manera presencial supervisado por el secretario académico del programa académico de Ingeniería civil de la facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **"EVALUACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO MASIVO DE LA OBRA PUENTE NANAY, IQUITOS – 2023"**.

Presentado por los Sustentantes:

**ADRIÁN RAMÍREZ GIL Y
GERHARD LIRIO VÁSQUEZ GARCÍA**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**

El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORIA**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.

Presidente

Miembro

Miembro

HOJA DE APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto publico el día Martes 05 de Marzo del 2024, a las 19:30 Horas, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.



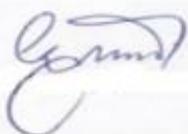
PRESIDENTE DEL JURADO
Ing. Félix Wong Ramírez, M. Sc.



MIEMBRO DEL JURADO
Ing. Ulises Octavio Irigoien Cabrera, M. Sc.



MIEMBRO DEL JURADO
Ing. Keuson Saldaña Ferreyra, Mg.



ASESOR (a)
Ing. Liliana Bautista Serpa, M. Sc.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE TESIS	IV
ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS	V
HOJA DE APROBACIÓN	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVIII
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes del estudio.....	1
1.2. Bases teóricas.....	9
1.2.1. Definición del concreto masivo	10
1.2.2. Factores que influyen en temperatura del concreto masivo	12
1.2.3. Recomendaciones para elaboración del concreto masivo	16
1.2.4. Problemática del concreto masivo.....	21
1.2.5. Fisuración por efectos térmicos.....	22
1.2.6. Clasificación de los límites de temperatura máxima del concreto según su exposición.	24
1.2.6.1. ACI 201.2R (EE.UU.)	25
1.2.6.2. LCPC (Francia)	27

1.2.7.	Formación de Etringita Diferida (DEF).....	41
1.2.8.	Medición de la temperatura del concreto en campo	48
1.3.	Definición de términos básicos.	49
	CAPITULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	51
2.1.	Descripción del problema.	51
2.2.	Formulación del problema.	54
2.2.1.	Problema general.	54
2.2.2.	Problemas específicos.	55
2.3.	Objetivos	55
2.3.1.	Objetivo general.	55
2.3.2.	Objetivos específicos.....	55
2.4.	Hipótesis	56
2.5.	Variables.	56
2.5.1.	Identificación de variables.	56
2.5.2.	Definición conceptual y operacional de las variables.	57
2.5.3.	Operacionalización de las variables.	58
	CAPITULO III: METODOLOGÍA	60
3.1.	Tipo y diseño de investigación.	60
3.2.	Población y muestra.	61
3.3.	Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.	61
3.4.	Procesamiento y análisis de datos.	62
	CAPITULO IV: RESULTADOS.	63
4.1.	Concreto empleado en los elementos masivos.	63
4.1.1.	Propiedades de los agregados.....	63
4.1.2.	Diseño de mezcla.....	67
4.2.	Clasificación de los límites de temperatura máxima	71
4.2.1.	Criterios de ACI 201.2R (EE.UU.)	71
4.2.2.	Criterios de LCPC (Francia)	72

4.3. Resultados de las mediciones de temperaturas	75
4.3.1. Viga Cabezal de Pilar 27	75
4.3.2. Cabezal de Pilotes de Torre 1	87
4.3.3. Cabezal de Pilotes de Torre 2	116
4.4. Resultados de las mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto.....	129
4.5. Análisis estadístico de datos.....	144
4.5.1. Resultados de las mediciones de temperaturas del concreto durante el fraguado.....	144
4.5.2. Resultados de las mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto.....	146
CAPITULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES.	147
5.1. Discusión.....	147
5.2. Conclusiones.....	151
5.3. Recomendaciones.	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154
ANEXOS.....	157

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 – Composición de cementos Portland.</i>	13
<i>Tabla 2 – Calor de hidratación según tipo de cemento para concreto que contiene 223 kg/m³ de cemento.</i>	13
<i>Tabla 3 – Calor de hidratación según tipo de cemento para concreto que contiene 223 kg/m³ de cemento.</i>	20
<i>Tabla 4 - Medidas recomendadas para reducir el potencial para DEF en concreto expuesto a elevadas temperaturas a edades tempranas</i>	25
<i>Tabla 5 – Categoría de obra</i>	28
<i>Tabla 6 - Clases de exposición del elemento de la obra frente a la RSI</i>	31
<i>Tabla 7 - Elección del nivel de prevención</i>	32
<i>Tabla 8 - Precauciones a aplicar frente a la RSI</i>	34
<i>Tabla 9 - Tipos de cemento según el nivel de prevención</i>	37
<i>Tabla 10 - Operacionalización de Variables</i>	58
<i>Tabla 11 – Características de los agregados.</i>	63
<i>Tabla 12 – Características de la combinación de las arenas de Paranapura y Papaplaya en proporción 50%-50%.</i>	64
<i>Tabla 13 – Características del agregado grueso.</i>	66
<i>Tabla 14 – Dosificaciones de los diseños de mezcla de obra.</i>	67
<i>Tabla 15 – Dosificación del concreto bajo agua (tremie) $f'c=280$ kg/cm².</i>	68
<i>Tabla 16 – Dosificación del concreto $f'c=350$ kg/cm².</i>	70
	X

<i>Tabla 17 - Elección del nivel de prevención</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 18 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 19 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 20 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 3</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 21 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 22 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 1</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 23 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 24 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 2</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 25 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 26 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 3</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 27 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 28 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 1</i>	<i>118</i>

<i>Tabla 29 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 30 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 2</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 31 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 3</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 32 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 3</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 33 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto – Viga Cabezal de Pilar 27</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 34 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto – Cabezal de Pilotes de Torre 1.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 35 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto – Cabezal de Pilotes de Torre 2.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 36 – Temperaturas iniciales de mezclas de concreto</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 37 – Datos estadísticos de los resultados de mediciones de temperaturas del concreto durante el fraguado.</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 38 – Datos estadísticos de los resultados de mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas del concreto.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 39 – Temperaturas y deltas térmicos máximos registrados (°C)</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 40 – Cumplimientos de las normas ACI (en rojo diferencia entre valor máximo registrado y limite normado) (°C)</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 41 – Cumplimientos de las normas LCPC (en rojo diferencia entre valor máximo registrado y limite normado) (°C)</i>	<i>150</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Evolución del calor como función del tiempo para la pasta de cemento.</i>	14
<i>Figura 2 - Relación entre la temperatura inicial del concreto y el calor de hidratación. Temperatura en °F</i>	15
<i>Figura 3 - Aumento de temperatura en el tiempo en concreto con 223 kg/cm³ de cemento.</i>	19
<i>Figura 4 - Ejemplo de agrietamiento térmico severo en la superficie superior de una cimentación.</i>	23
<i>Figura 5 - Una diamantina de concreto extraído de la base de una cimentación muestra el grado de fisuración térmica.</i>	23
<i>Figura 6 - Mecanismo de la expansión del DEF</i>	41
<i>Figura 7 - DEF en una columna en San Antonio, Texas</i>	42
<i>Figura 8 - Fisuras producidas por DEF en Pilar de Puente</i>	43
<i>Figura 9 – (a) Etringita primaria no expansiva en pasta de cemento, vista bajo un</i>	44
<i>Figura 10 - Bloque experimental de concreto masivo.</i>	48
<i>Figura 11 - Diagrama de flujo para la determinación del nivel de prevención frente al riesgo de RSI.</i>	40
<i>Figura 12 - Ubicación de los elementos estructurales del concreto masivo por investigar</i>	52
<i>Figura 13 – Ubicación de Cabezales de Pilotes de Torres en el plano de elevación.</i>	53

<i>Figura 14 – Ubicación de la Viga Cabezal del Pilar en el plano de elevación...</i>	54
<i>Figura 15 - Análisis granulométrico de los agregados finos de Paranapura y Papaplaya</i>	64
<i>Figura 16 - Análisis granulométrico de la combinación de los agregados finos de Paranapura y Papaplaya en proporción 50%-50%</i>	65
<i>Figura 17 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 1, Termocuplas 1 y 2.....</i>	78
<i>Figura 18 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 1, Termocuplas 1 y 2</i>	79
<i>Figura 19 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 2, Termocuplas 1 y 2</i>	82
<i>Figura 20 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 2, Termocuplas 1 y 2</i>	83
<i>Figura 21 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27 Tubo 3, Termocuplas 1 y 2</i>	86
<i>Figura 22 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27 Tubo 3, Termocuplas 1 y 2.....</i>	87
<i>Figura 23 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4</i>	96
<i>Figura 24 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	97
<i>Figura 25 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4</i>	106

<i>Figura 26 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 27 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 28 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 29 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 30 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 31 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 32 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 33 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 34 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4.....</i>	<i>129</i>

RESUMEN

En la ciudad de Iquitos, desde el año 2017 se llevó a cabo la obra del proyecto de inversión pública "CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO I: BELLAVISTA – SANTO TOMÁS (PUENTE NANAY Y VIADUCTOS DE ACCESO)" que forma parte del proyecto "CONSTRUCCION DE LA CARRETERA BELLAVISTA - MAZAN - SALVADOR - EL ESTRECHO", con Código SNIP 396, tiene como Unidad Formuladora al Proyecto Especial Binacional Desarrollo Integral de la Cuenca del río Putumayo, PEDICP, del Ministerio de Agricultura, y como Unidad Ejecutora al MTC - PROVIAS descentralizado (PVD). Inicia en Bellavista, en la Av. La Marina, cruza el río Nanay y termina en el poblado de Santo Tomás.

Cuando se trata de concreto masivo la principal diferencia que se presenta frente a un concreto distinto, es su comportamiento térmico. Esto se debe a que, la baja conductibilidad térmica del concreto no permite que el calor generado en su interior se disipe rápidamente, causando diferenciales altos de temperatura entre la cara expuesta del elemento y el interior. (1) Además, puede provocar temperaturas en el interior del elemento que puedan provocar reacción llamada Reacción interna del sulfato (RSI). El producto de esta reacción es Etringita Diferida (DEF), que puede provocar expansión del concreto, produciendo grietas y fisuras.

En la construcción del puente en gran escala se usó elementos estructurales del concreto masivo. En la tesis se pretende investigar tres estructuras, que son: Viga Cabezal del Pilar 27, Cabezales de Pilotes de Torre 1 y 2, donde se tomó junto con el Consorcio Puente Nanay las lecturas de las temperaturas del fraguado de dichos elementos. Para ello se usó termocuplas, tipo de medidores de temperatura embebidos dentro del concreto conectados con cables que salen a superficie por medio de tubos donde se conecta con un lector especial y tomar temperaturas. En el pilar 27 se usó tres termocuplas en el núcleo y tres en la superficie en las

partes izquierda, central y derecha del elemento. De igual forma se hizo en los Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2, con diferencia que en cada parte se usó dos termocuplas en núcleo y dos en superficie para disminuir riesgo que alguna termocupla se dañe y esa zona del elemento masivo se quede sin poder tomar lecturas. Se pretendió dar a conocer cómo se comportó concreto masivo en condiciones climáticas y con materiales accesibles en la zona.

Esa investigación es la primera de este tipo en la región, se realizó en la obra de la más grande envergadura y podrá servir de antecedente para muchas más investigaciones futuras en Loreto, Perú.

En los resultados se obtuvieron valores de temperaturas que en varios periodos de tiempo superaron límites establecidos por normas ACI 201.2R-16 (2016) "Guide to Durable Concrete" de Estados Unidos y Guía Técnica LCPC de Francia. Sin embargo, al final los elementos no presenciaron ningún efecto térmico como reacción interna del sulfato (RSI), ni fisuración por diferencias térmicas entre núcleo y superficie. Las estructuras no recibieron observaciones por parte del contratista, ni supervisión. Nosotros los autores de la investigación tampoco hemos observado grietas ni fisuraciones.

Palabras clave: Concreto masivo, Puente Nanay, Efectos térmicos en concreto

ABSTRACT

In the city of Iquitos, since 2017, the work of the public investment project "CONSTRUCTION OF SECTION I: BELLAVISTA – SANTO TOMÁS (NANAY BRIDGE AND ACCESS VIADUCTS)" was carried out, which is part of the project "CONSTRUCTION OF THE HIGHWAY BELLAVISTA - MAZAN - SALVADOR - EL ESTRECHO", with SNIP Code 396, has as its Formulating Unit the Special Binational Project for the Comprehensive Development of the Putumayo River Basin, PEDICP, of the Ministry of Agriculture, and as its Executing Unit, the decentralized MTC - PROVIAS (PVD).). It begins in Bellavista, on La Marina Avenue, crosses the Nanay River and ends in the town of Santo Tomás.

When it comes to massive concrete, the main difference that occurs compared to a different concrete is its thermal behavior. This is because the low thermal conductivity of concrete does not allow the heat generated inside to dissipate quickly, causing high temperature differentials between the exposed face of the element and the interior. (1) In addition, it can cause temperatures inside the element that can cause a reaction called Internal Sulfate Reaction (ISR). The product of this reaction is Deferred Etringite (DEF), which can cause expansion of the concrete, producing cracks and fissures.

Massive concrete structural elements were used in the construction of the large-scale bridge. The thesis aims to investigate three structures, which are: Head Beam of Pillar 27, Heads of Tower Piles 1 and 2, where the readings of the setting temperatures of said elements were taken together with the Nanay Bridge Consortium. For this, thermocouples were used, a type of temperature meter embedded within the concrete connected with cables that come to the surface through tubes where it is connected to a special reader and temperatures are taken. In pillar 27, three thermocouples were used in the core and three on the surface in the left, center and right parts of the element. The same was done in the Pile Heads of Towers 1 and 2, with the difference that in each part two thermocouples were used in the core and two on the surface to reduce the risk that any thermocouple could be damaged and that

area of the massive element would be left without power. take readings. The aim was to make known how massive concrete behaved under climatic conditions and with accessible materials in the area

This investigation is the first of its kind in the region, it was carried out in the largest work and could serve as a precedent for many more future investigations in Loreto, Peru.

The results obtained temperature values that in various periods of time exceeded limits established by ACI 201.2R standards.

16 (2016) "Guide to Durable Concrete" from the United States and LCPC Technical Guide from France. However, in the end the elements did not witness any thermal effect such as internal sulfate reaction (IR), nor cracking due to thermal differences between core and surface. The structures did not receive observations from the contractor or supervision. We, the authors of the research, have not observed cracks or fissures either.

Keywords: Massive concrete, Nanay Bridge, Thermal effects in concrete

CAPITULO I: Marco Teórico

1.1. Antecedentes del estudio.

(Rodriguez Cabarcas, 2019) (2) La evaluación termodinámica de las estructuras de concreto masivo del nuevo Puente Pumarejo se centró en el análisis de las bases de las pilas principales del mismo, específicamente en los pilonos 13 y 14; estas evaluaciones termodinámicas se realizaron por medio de termómetros especiales ubicados y distribuidos en las diferentes fases de hormigonados de los encepados. Los encepados son un elemento estructural fuertemente armado que tiene como principal función enlazar grupos de pilotes, se comporta como una zapata y además sirve de base para los pilonos; los encepados de los pilonos fueron fundidos en 3 fases debido a su alto volumen de concreto, por lo que se les da el nombre de concretos masivos. El presente proyecto investigativo comprende el desarrollo continuo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica y revisión de las temperaturas obtenidas en cada fase de hormigonado de estos elementos estructurales, elaboración de gráficas, determinación de las correlaciones y análisis de los resultados que permita integrar todos los en un modelo estadístico. Se desarrollaron entre 8 – 10 puntos de ensayos termodinámicos por cada fase de fundida en los encepados de los dos pilonos principales utilizando una termocupla tipo K, que cuenta con un sensor de temperatura capaz de almacenar información cada cierto tiempo definido, para este caso, cada 10 minutos las termocuplas marcaban la temperatura del elemento en la posición que se encontrara. El encepado tiene una altura de 6.5m. Cada fase de fundida se hizo de 1.25m y las termocuplas generalmente se posicionaban a la mitad de la altura de cada fase, es decir; 0.6m para la fase 1, 1.25m para la fase 2 y 2.65m para la fase 3. A su vez, la temperatura ambiente también fue tomada en cada medición. Las temperaturas máximas no sobrepasaron el límite de colocación de concreto establecido por la ACI de 70°C.

Debido a las condiciones geográficas del proyecto, su cercanía con el mar y la humedad de la zona se hace necesario bajar los niveles de temperatura del hormigón, esto tiene como objetivo evitar la fisuración por retracción. En el nuevo Puente Pumarejo el control y manejo de la temperatura se logró tomando medidas tales como; cambiar un porcentaje de agua por hielo en la mezcla, humedecer el tambor de los camiones mixer, ensombrecer áridos con polisombra y humectarlos, reemplazo de cemento por escorias de horno. Al generar estos cambios en el tratado de los materiales y los equipos que intervienen en el proceso de fabricación del concreto se obtuvieron temperaturas de vaciado de 27,7°C y de ambiente de unos 27,9°C, y el promedio de temperatura máxima es de 63,5°C en los elementos.

(Zeña Vela, 2015) (1) Concluyó del análisis a ambos casos experimentales en diferentes climas de la sierra peruana, se han podido extraer algunas conclusiones las cuales se enfocan en el método de predicción de temperatura del ACI 207.2, la etapa de fabricación del concreto, y la etapa de vaciado del concreto.

Método de predicción de temperatura ACI 207.2

Se pueden resaltar las siguientes conclusiones:

- ✓ El procedimiento del ACI 207 es un método preventivo, el cual permite tomar decisiones para definir el diseño de mezcla o el procedimiento constructivo.
- ✓ Se necesita una mejor toma de datos de temperatura, tanto del microclima como las temperaturas del concreto. Actualmente, existen termocuplas las cuales pueden ser programadas desde el inicio del vaciado para medir en un rango contante.
- ✓ Así como se muestra en el análisis, en uno de los casos se muestra una diferencia de temperaturas máximas alcanzadas

de 27% y en el otro solo es del 6%. Esta variación se puede deber a que en el primer caso existía la presencia de un microclima, y que la lectura de las termocuplas no fue constante.

- ✓ Se necesita de una mayor toma de datos para poder establecer un factor de corrección según los parámetros que intervienen en el diseño y vaciado.
- ✓ Se aprecia que el método es útil para calcular la temperatura máxima, sin embargo, se debe tener una buena referencia de la zona para predecir la temperatura de la superficie y con ello, el gradiente de temperatura máximo.
- ✓ Del análisis de esfuerzos por gradiente térmico se obtiene un esfuerzo mayor de lo que puede resistir el concreto a tracción, lo que indicaría que probablemente se fisure. No obstante, se debe recordar que el procedimiento que indica el ACI, debe ser considerado como una aproximación debido a que el método está realizado para un concreto pobre. Estudios anteriores indican que el concreto reforzado puede resistir hasta un gradiente de 37°C para una resistencia a la compresión de 280 kg/cm².
- ✓ Las estructuras de concreto armado usan cementos con mayor generación de calor, agregados más pequeños, más agua, y menor control de temperatura que normalmente se usa o recomienda para el tipo de concretos masivos que se refiere la norma.
- ✓ Los ábacos usados fueron obtenidos a partir de cementos de la época de la primera versión del reporte ACI 207.4R; por lo que actualmente, los cementos se desenvuelven de manera distinta y poseen otro comportamiento térmico.
- ✓ Se debe tener en cuenta que se ha realizado distintas aproximaciones para adecuarlo a las condiciones comunes

que se presentan en nuestro medio, tales como el microclima o los tipos de cementos comerciales, por lo que el resultado debe ser tomado como referencia.

- ✓ De los gráficos, se puede decir que la relación entre volumen y área de disipación es muy importante por lo que se debe de tomar en cuenta, al momento de realizar el procedimiento de vaciado de concreto masivo. Tomar en cuenta sectorizaciones.
- ✓ Un método más preciso para comprobar si los resultados son correctos, es realizar un modelo matemático usando un software que permita mostrar la evolución de la temperatura en el tiempo y considerando otras propiedades térmicas del concreto, así como, las condiciones ambientales de la zona. Dentro de estos programas de computación se pueden mencionar al ANSYS, ABAQUS, MIDAS-CIVIL, COMSOL, entre otros.

Etapas de Fabricación

De los resultados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- ✓ Reducir la cantidad de cemento en la mezcla, ya que así se reduciría la cantidad de calor de hidratación generado por metro cúbico. No obstante, como se trata de concreto masivo reforzado, la resistencia que alcance a los 28 días es de suma importancia, por lo que debería hacerse uso de algún aditivo para su diseño. Por ejemplo, se puede usar los aditivos reductores de agua – plastificantes porque permite mejorar la trabajabilidad en el concreto fresco, lo que facilitaría las labores de colocación, disminuiría las retracciones, y sobretodo más importante, permite reducir el agua de mezcla en el concreto produciendo incrementos en la resistencia.

- Cambiar el tipo de cemento, a uno que produzca menor cantidad de calor de hidratación debido a su composición química. Entre ellos podemos escoger entre el Tipo II, IV o V; sin embargo, en nuestro mercado no están disponibles los dos primeros, pero si el Tipo V. Su composición química le permite reducir la temperatura del concreto, debido a su bajo contenido de aluminato tricálcico, principal componente que incremento el calor de hidratación.
- Se aprecia que en el Caso 02 – Condiciones templadas, se utilizó el cemento Tipo HE, el cual es similar al Tipo III, uno de los que generan mayor calor de hidratación. Es por esto que se alcanzan temperaturas mayores a los 70 °C permitidos. Debió realizarse un reemplazo del cemento en el diseño de mezcla.
- La elección del tamaño máximo del agregado, influye en la cantidad de cemento que ingresara en la mezcla. Si ingresa menor cantidad de cemento, se generara menor calor de hidratación en la mezcla.
- Reducir la temperatura inicial de los componentes del concreto por medio de métodos físicos o químicos. Esto se realiza antes de realizar la mezcla, es decir, se deben almacenar en lugares frescos de baja temperatura ambiental.

Etapa de Vaciado

Así mismo, para reducir la evolución de la temperatura se puede considerar:

- Realizar el vaciado de celdas a una velocidad adecuada, ya que el calor podrá ser liberado de una forma más rápida. Sin embargo, esta velocidad no debe ser menor que la de diseño ya que no cumpliría con el procedimiento establecidos.

- ✓ Para poder alcanzar las velocidades adecuadas es recomendable usar aditivos autocompactantes para que pueda tener mayor trabajabilidad. Además, al usar este aditivo no hay la necesidad de vibrar el concreto por lo que se necesitara menor cantidad de personal trabajando en el área, por lo que el avance sería más rápido. Por ejemplo, para una mezcla convencional con un slump del orden de 2" a 3", se le puede añadir el autocompactante y puede producir asentamientos del orden de 6" a 8" sin alterar la relación Agua/Cemento.
- ✓ El desencofrado debe realizarse cuando las temperaturas del interior y de la superficie sean similares, es decir cuando el elemento alcance una temperatura estable. En campo se puede determinar la temperatura estable, con el uso de las termocuplas.
- ✓ Cuando se usa un microclima se puede controlar la temperatura del interior del concreto haciendo uso adecuado de los dragones. Se puede controlar la temperatura del microclima y mantener en una temperatura estable que no exceda lo recomendado.
- ✓ Es importante que en elementos de concreto masivo exista por lo menos cuatro termocuplas que midan las temperaturas del centro y de una capa cercana a la superficie en contacto con el exterior.
- ✓ El uso del microclima permite controlar el gradiente de temperatura con mayor facilidad, ya que se puede ir manejando la temperatura con el uso de los dragones. También se puede utilizar mantas térmicas para evitar la pérdida de calor.

(Pérez Cadenillas, 2019) (3) Desarrolló siguientes conclusiones:

1. Se determinó el Diseño de mezcla de concreto para uso masivo , para ello fue necesario la participación de un Aditivo tipo Plastificante; se elaboró sus respectivas probetas de Concreto a diferente relación Agua / Cemento [A/C], con su posterior medición de resistencia a los 7, 14 y 28 días mediante el ensayo de Compresión de probetas cilíndricas, y apoyándose de tablas Excel se graficó la línea de tendencia en la que concurren; determinando la ecuación potencial del Diseño de mezcla de concreto óptimo que a continuación presento:

Cemento	363.16	[Kg. / m3]
Agua	163.70	[Lt. / m3]
Agregado	1098.97	[Kg. / m3]
Grueso [Grava]		
Agregado Fino [Arena]	746.31	[Kg. / m3]
Aditivo [Plastificante]	1.72	[Lt. / m3]

2. Se determinó las características físicas de los agregados siguiendo los procedimientos según Normas vigentes mismos que a continuación presento:

3. Del ensayo de granulometría al que fue sometido el Agregado Grueso (Piedra Chancada) y Agregado Fino (Arena) provenientes de la Cantera tiraquillo – Buenos Aires – Picota – San Martín), se concluye que la gradación se encuentra fuera de los parámetros establecidos por el ACI 207 como recomendación de tamaño máximo nominal de agregado grueso para concreto masivo y la Norma ASTM C 33 respectivamente.

4. Del apartado “B” en lo que concierne al ensayo de granulometría del Agregado Fino también se obtuvo el valor del Módulo de Fineza equivalente a $M_f = 1.94$, mismo que dista considerablemente con parámetros establecidos por el ACI 207 para determinar el Volumen de agregado

Grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, siendo necesaria realizar una extrapolación con la finalidad de determinar el porcentaje que corresponde al Agregado Grueso y Agregado Fino en la mezcla.

5. De la elaboración de los especímenes (Probetas de Concreto) diseñados con diferente relación Agua / Cemento [A/C], se realizó la medición de resistencia alcanzados a los 7, 14 y 28 días mediante el ensayo de Compresión de probetas cilíndricas, y apoyándose de tablas Excel se graficó la línea de tendencia en la que concurren; determinando la ecuación potencial del Diseño de mezcla de Concreto Óptimo para resistencia de $F'c = 175 \text{ Kg./cm}^2$ y 210 Kg./cm^2 respectivamente realizados con los materiales de la zona de Buenos Aires.

6. De los diseños de mezcla de concreto óptimo (DSMO) concluyo lo siguiente: que la proporción de material aglomerante para para el DMCO de resistencia $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ equivale a 330 kg/m^3 resultando innecesaria el control de temperatura debido a que esta no supera los 355 kg/m^3 establecidos en la norma.

De la resistencia $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ la proporción en cemento que corresponde agregar equivale a 105 % superando el mínimo establecido, por lo que se debe tener en consideración mecanismos necesarios para contrarrestar y controlar la generación de temperatura, es por ello que se procedió al diseño de mezcla de un concreto masivo añadiendo un aditivo plastificante.

7. Con el Diseño de Mezcla del Concreto masivo Óptimo + Plastificante se realizó el control de temperatura en el interior de bloques de dimensiones $10 \times 10 \times 10$, $20 \times 20 \times 20$, $30 \times 30 \times 30$, $40 \times 40 \times 40$ y $50 \times 50 \times 50$; y apoyados de la ecuación potencial producto de la línea de tendencia de Dimensiones de Bloque VS Variación de temperatura en el interior del cada bloque, arroja

una sección máxima de 82 cm, posterior a esta sección a ello la diferencia de temperatura en el interior y exterior superan los 20 °C.

(Vargas, Albarracín y Quintana, 2018) (4) En el trabajo se presentó un algoritmo numérico que permite obtener la distribución de temperatura en bloques de hormigón macizo. La formulación se obtuvo a partir de la implementación de un método en diferencia finita, el cual resulta estable para el paso de tiempo adoptado (2hs). El modelo es validó a partir de casos previamente tratados en la bibliografía disponible, tanto con resultados numéricos como experimentales. Luego, se obtuvieron las curvas de variación de temperatura de bloques con diferentes contenidos de cemento para determinar el gradiente de temperatura entre el punto de temperatura máximo y el de temperatura mínima. Se determinó que el bloque con mayor contenido de cemento, alcanzo un gradiente de aproximadamente 20°C, valor a partir del cual hay altas probabilidades de fisuración, y por lo tanto resulta coherente tomar medidas para controlar la variación de temperatura. Los resultados obtenidos en ambos casos fueron coherentes con las recomendaciones dadas en las normativas. Finalmente, se destaca que con el algoritmo desarrollado se espera poder realizar estudios paramétricos en bloques con distintas dimensiones y establecer algún tipo de relación simplificada entre estas, el contenido de cemento y el gradiente de temperatura que se podría alcanzar.

1.2. Bases teóricas.

Bases teóricas sobre el concreto masivo, sus propiedades y comportamiento térmico están tomadas del informe “Recomendaciones Técnicas del Vaciado de Concreto Masivo” (5) realizado por SENCICO y de autoría del Ing. Pablo Jhoel Peña Torres. Hay que tener en cuenta que Reglamento Nacional de Edificaciones no contiene ningunos lineamientos con respecto al vaciado del concreto masivo.

1.2.1. Definición del concreto masivo

El American Concrete Institute (ACI) en tres de sus comités define al concreto masivo de la siguiente manera:

- Según el ACI 116 “Terminología del cemento y del hormigón” (5) p. 116 el concreto masivo es “cualquier elemento de grandes dimensiones que genere que se tomen medidas preventivas para contrarrestar la generación de calor interior debido a la hidratación de cemento causando cambios volumétricos y con esto, fisuras o grietas”
- Según el ACI 207.1-05 “Guide to Mass Concrete” (6) “(...) la característica que distingue al concreto masivo del resto de concretos convencionales es su comportamiento térmico”.
- Según el ACI 211.1R-91 “Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete” (8) indica lo siguiente respecto a la definición del concreto masivo “muchos elementos estructurales de grandes dimensiones pueden ser lo suficientemente masivos como para que se tome en cuenta la generación de calor, particularmente cuando las dimensiones mínimas de la sección transversal de un elemento estructural se aproximan o exceden de 2 a 3 pies (0,61 a 0,91m) o cuando se utilizan contenidos de cemento por encima de 600 lb/yd³ (356 kg/m³) (8.38 bolsas/m³). Se debe dar consideraciones similares a otras colocaciones de concreto que cumplan con estas definiciones pero que contienen cemento de alto calor de hidratación.
- Según el ACI 301-16 “Specifications for Structural Concrete” (9) p. 301 el concreto masivo es cualquier “Volumen de concreto estructural en el que la combinación de las dimensiones del elemento a vaciar, las condiciones de contorno, las características del concreto y las condiciones ambientales pueden provocar esfuerzo térmicos indeseables, agrietamiento, reacciones químicas nocivas o reducción de resistencia a

largo plazo como resultado de la elevada temperatura del concreto debido al calor de hidratación”.

De lo mencionado líneas arriba, se puede desprender que el criterio para considerar un vaciado de concreto como masivo es el riesgo a la fisuración por cambios volumétricos originados por el calor generado debido a la propia hidratación del cemento (comportamiento térmico), el espesor de la sección mínima del elemento a vaciar, la cantidad y el tipo de cemento (calor de hidratación) a utilizar en la dosificación de la mezcla.

De las experiencias registradas en diferentes tipos de proyectos, se ha notado variaciones en los registros de temperaturas según las características del elemento a vaciar. Por ejemplo, una zapata de 1,5m de espesor, en el cual se utilizó un concreto de $f'c = 21\text{MPa}$ con 320 kg/m^3 de cemento Tipo V, generó una temperatura máxima en el núcleo de 58°C y en el vaciado de un muro de 0,6m de espesor, en el cual se utilizó un concreto de $f'c = 35\text{MPa}$ con 460 kg/m^3 de cemento Tipo I, generó una temperatura máxima en el núcleo de 71°C . Por lo que es importante enfatizar que este comportamiento térmico de elevada temperatura depende de la cantidad de cemento, tipo de cemento, espesor del elemento y no necesariamente del volumen del elemento a vaciar. A modo de ejemplo, en un vaciado de 1200 m^3 de concreto y utilizando una misma dosificación de concreto podríamos tener comportamientos térmicos diferentes en función de las dimensiones del elemento. Si ese volumen de concreto es utilizado en una losa de concreto de 0,2m de espesor con una sección en planta de $60\text{m} \times 100\text{m}$ tendríamos mucho menor generación de temperatura en el núcleo que, en una sección de concreto de una fundación de 2m de espesor con una sección en planta de $20\text{m} \times 30\text{m}$. Sin embargo, realizando una evaluación normativa de este ejemplo, notamos que la losa de 0,2m de espesor no cumple el requerimiento de espesor mínimo del ACI 211.1 (8) para ser considerado con un vaciado de concreto masivo, por lo cual solo la fundación de 2m de espesor es considerada como un vaciado

masivo. Dentro de las estructuras que también deberían considerarse de comportamiento masivo están los elementos prefabricados, debido a que el concreto utilizado en este tipo de elementos es sometido a un tratamiento térmico que genera una elevada temperatura inicial para su puesta en servicio en plazos de tiempo reducidos respecto a los elementos convencionales de concreto.

1.2.2. Factores que influyen en temperatura del concreto masivo

La cantidad de calor generado es influenciada por varios factores, entre ellos:

- Tipo de Cemento.
- La cantidad de cemento usado.
- Fineza del cemento
- Temperatura inicial de vaciado

Tipo de Cemento

Así como se mencionó en líneas anteriores, la elección del Tipo de cemento influye en la cantidad de calor generado por la hidratación del cemento. Esto debido a que cada Tipo de cemento tiene una composición distinta como podemos apreciar en la Tabla 1. A su vez, cada compuesto produce una cantidad distinta de calor y a diferentes edades. El C3A hidrata en su mayor porcentaje durante el primer día, el C3S durante la primera semana, y el C2S después de la primera semana, mientras que el calor liberado por el C4AF es menor. (1)

Tabla 1 – Composición de cementos Portland.

TIPO	C ₃ S %	C ₂ S %	C ₃ A %	C ₄ AF %
I	42 -65	10-30	00-17	06-18
II	35-60	15-35	00-08	06-18
III	45-70	10-30	00-15	06-18
IV	20-30	50-55	03-06	08-15
V	40-60	15-40	00-05	10-18

Fuente: Rivva, 2008 (10)

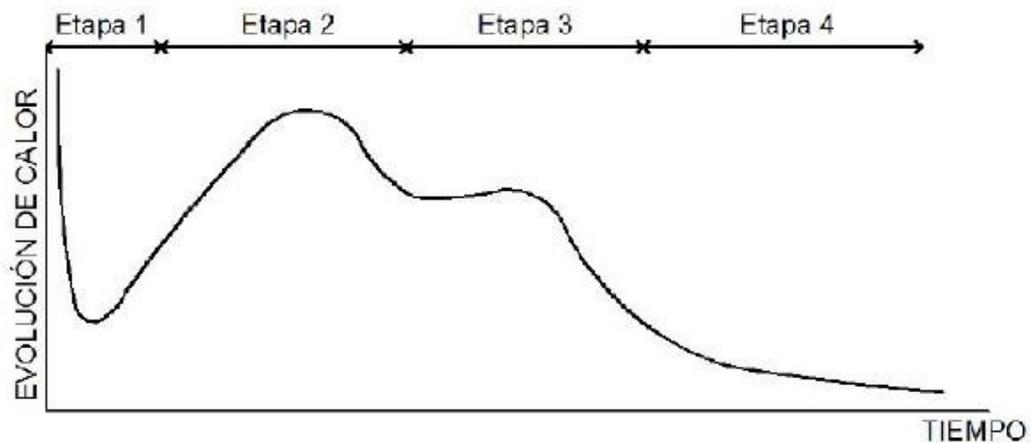
Por otro lado, la Tabla 2 nos muestra la cantidad total liberada de calor en cada uno de los compuestos. Se puede apreciar que los cementos que contengan mayor cantidad de C₃A y C₃S, serán los de mayor calor de hidratación, es decir los menos recomendados a usar en un concreto (1)

Tabla 2 – Calor de hidratación según tipo de cemento para concreto que contiene 223 kg/m³ de cemento.

Componente	Calor de hidratación (cal/gr)
C ₃ A	207
C ₃ S	120
C ₄ AF	100
C ₂ S	62

Fuente: Rivva, 2008 (10)

Figura 1 - Evolución del calor como función del tiempo para la pasta de cemento.



Fuente: PCA, 2004

En la primera etapa, se da el primer pico debido al componente químico C3A; después de unas horas, en la segunda etapa, aparece un nuevo pico debido a la hidratación del C3S. Pasadas las primeras 12 horas, se inicia un nuevo incremento para así generar un tercer pico en la tercera etapa debido a la reacción renovada del aluminato tricíclico; por último, luego de 90 horas entra en una etapa donde la generación de calor se reduce y se estabiliza. (1)

Fineza de cemento

La finura del cemento afecta más a la rapidez con que se da la hidratación, que a la cantidad de calor liberado, por lo que su efecto se manifiesta principalmente durante las edades tempranas. La mayor finura del cemento (partículas menores) aumenta la velocidad o tasa de hidratación del cemento y, por lo tanto, acelera el desarrollo de la resistencia. La medida de la finura se refleja a la superficie específica y es la suma de la superficie, en centímetros cuadrados, de todas las partículas en 1 gramo de cemento considerando que las partículas se toman como esferas. Normalmente, la finura es determinada a través de métodos que son el Turbidímetro de Wagner y el Equipo de Permeabilidad al Aire Tipo Blaine.

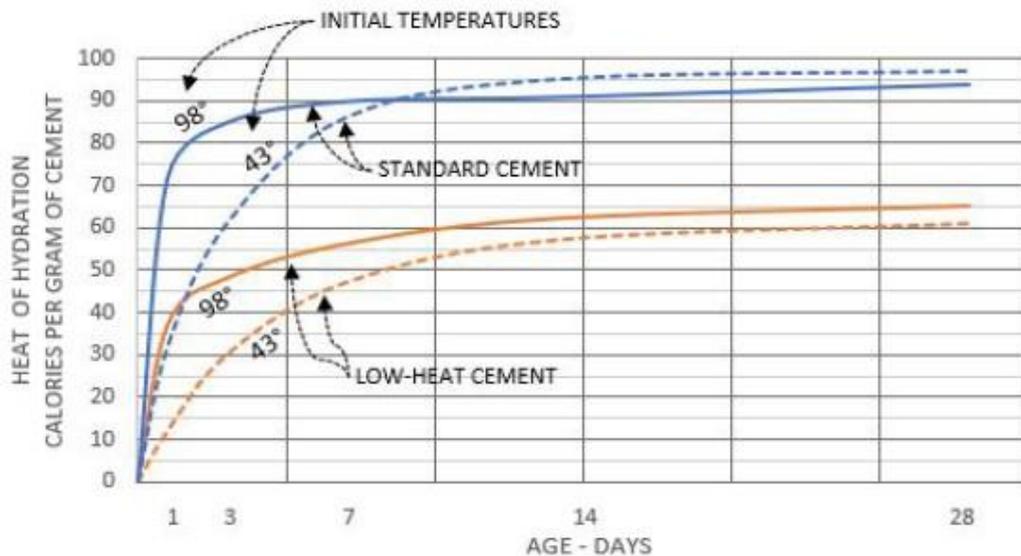
La cantidad de calor depende de la finura del cemento porque la hidratación empieza en la superficie de las partículas de cemento. Esto representa el material disponible en contacto con el agua, ocasionando la hidratación.

Para las mismas condiciones, un cemento que tenga una fineza de 1 600 cm^2/g alcanzará un valor del 70% del calor generado total a los 4 días, a diferencia de un cemento con una fineza de 3 000 cm^2/gr , que llega a alcanzar alrededor de un 95% (ACI 207.2R, 2007) (10).

Temperatura inicial de vaciado

El efecto de la temperatura de vaciado afecta levemente a la cantidad total de calor generado. En edades tempranas, se puede apreciar mejor su efecto que consiste en que mientras más baja sea la temperatura de vaciado, menor cantidad de calor de hidratación se generará, así como lo podemos apreciar en la Figura 2. Además, el calor de hidratación se genera a una mayor velocidad cuando la temperatura del ambiente se incrementa.

Figura 2 - Relación entre la temperatura inicial del concreto y el calor de hidratación. Temperatura en °F



Fuente: U.S. Bureau of Reclamation, 1988 (11)

1.2.3. Recomendaciones para elaboración del concreto masivo

Como ocurre con otros tipos de concreto, el concreto masivo se compone de cemento, agregados, agua y con frecuencia puzolanas y aditivos; siendo solo el material cementicio quien genera una reacción exotérmica cuando reacciona con el agua. La elección del tipo de cemento y una eventual adición, debido a la prescripción del proyecto, deben tomar en cuenta los costos, la trabajabilidad, la durabilidad, la resistencia, la ausencia de fisuras, el bajo aumento de temperatura del concreto y en caso sean estructuras hidráulicas, una baja permeabilidad. De hecho, el cementante (cemento y adiciones) debe ser lo menos exotérmico posible sin dejar de ser compatible con las especificaciones relacionadas con la clase de exposición y con los requerimientos de resistencia del concreto. Del mismo modo, la dosis de aglutinante se podría minimizar, a la menor cantidad posible, mientras se cumplen los requisitos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, esto a fin de minimizar el aumento de temperatura en el concreto. El uso de los cementos adicionados y/o la incorporación de adiciones son soluciones adecuadas para minimizar la reacción exotérmica del concreto. (7) p. 207. Para vaciados de concretos masivos, es deseable utilizar cementos de bajo o moderado calor de hidratación conforme a la norma ASTM C150 / NTP 334.009 (Cementos Portland), la norma ASTM C595 / NTP 334.090 (Cementos Portland Adicionados), la norma ASTM C1157 / NTP 334.082 (Cementos Portland Performance), o se use Cemento Portland con cenizas volantes clase F o cemento con escorias o ambos (9), p. 310. De lo antes mencionado se puede concluir que para vaciados de concretos masivos **no se recomienda el uso de Cemento Tipo I o GU sin medidas que ayuden a controlar los problemas de temperatura** debido a su calor de hidratación sustancialmente más alto (7), p. 1. Los cementos de alto calor de hidratación como los de Tipo III o HE tampoco son recomendados para vaciados masivos (9), p. 310.

A modo de ejemplo, el reemplazo en el diseño de concreto de un Cemento Tipo I por un Cemento Tipo HS (en un elemento de un espesor de 1m) se traduce en una disminución de la temperatura máxima de 12°C aproximadamente.

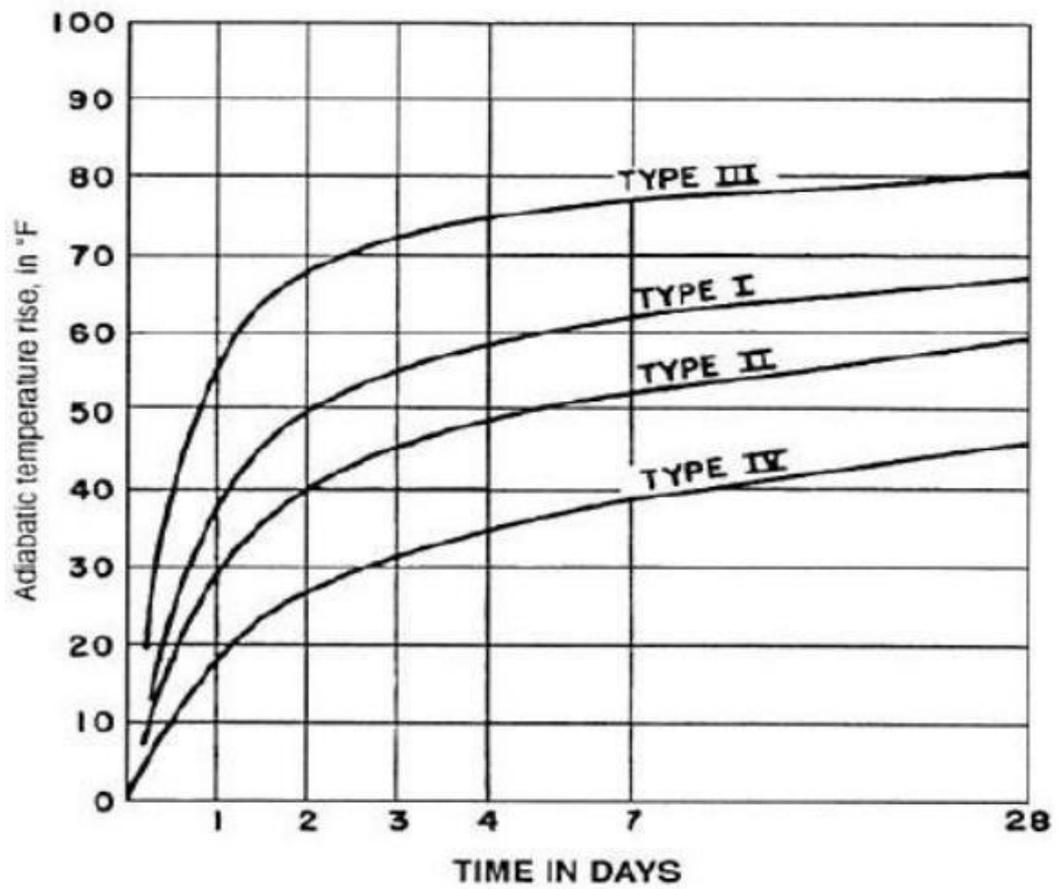
En el Apéndice 5 del ACI 211.1 (8), se encuentran algunas orientaciones para dosificar concretos considerados masivos, “el propósito del procedimiento de dosificación de concreto masivo es combinar los materiales cementicios disponibles, agua, agregados y aditivos de manera que la mezcla resultante no exceda algún aumento de temperatura permitido y sin embargo cumpla los requisitos de resistencia y durabilidad. En algunos casos, se puede requerir dos mezclas: un concreto masivo interior y un concreto exterior a fin de resistir las diversas condiciones de exposición. En consecuencia, los especialistas de tecnología de concreto y diseñadores estructurales durante la etapa de diseño deben considerar los efectos de la temperatura en las propiedades del concreto”

“Por ejemplo, una placa de 15cm de espesor disipa el calor generado con bastante facilidad, pero a medida que aumente el espesor y tamaño del elemento, se alcanza un punto en el que la tasa de calor generado supera con creces la tasa de calor disipado. Este fenómeno produce un aumento de temperatura dentro del concreto que puede causar suficiente diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la masa de concreto que inducen esfuerzos de tracción. El diferencial de temperatura entre el interior y el exterior del concreto generado por la disminución de las condiciones de temperatura del aire (ambiente) puede causar fisuras en las superficies expuestas. Además, a medida que el concreto alcanza su temperatura máxima y se produce el subsiguiente enfriamiento, este enfriamiento induce tensiones de tracción si el cambio de volumen está restringido por cimientos o conexiones a otras partes de la estructura. La cantidad de calor producido por el cemento es función de su composición química (Figura 3) y de su temperatura inicial. El cemento tipo II se utiliza con mayor frecuencia en el

concreto masivo, ya que es un cemento de moderado calor de hidratación y generalmente tiene propiedades favorables para la mayoría de los tipos de construcción. Cuando se usa el cemento Tipo II combinado con Puzolanas, el calor generado es comparable con el del cemento Tipo IV” (8). En el Perú las alternativas que cumplen con estas características son los cementos tipo IP, II, V, MS o HS. En el caso de utilizar escorias de alto horno o cenizas volantes, se mejorará la resistencia de los concretos frente a la Reacción Sulfática Interna (RSI), especialmente debido a la disminución relativa en la cantidad de aluminatos provenientes del Clinker y de la modificación de la naturaleza y de la textura de los hidratos. Además, el uso de adiciones como sustitución del cemento, contribuye a reducir la cantidad de sulfatos dentro del concreto.

La baja temperatura de colocación del concreto, comúnmente utilizada en vaciados de concretos masivos, por lo general disminuirá la tasa de hidratación del cemento y el calor inicial generado. En consecuencia, por el concepto de madurez, también se puede reducir el desarrollo de la resistencia en los primeros días. Otro aspecto que afecta la tasa de calor de hidratación es la finura del cemento; sin embargo, tiene poco efecto sobre el calor inicial generado. Los cementos finamente molidos producirán calor más rápidamente durante las primeras edades que un cemento molido más grueso, siendo todas las demás propiedades del cemento iguales (8).

Figura 3 - Aumento de temperatura en el tiempo en concreto con 223 kg/cm³ de cemento.



Fuente: (8) ACI 211.1 1991

Tabla 3 – Calor de hidratación según tipo de cemento para concreto que contiene 223 kg/m³ de cemento.

Tipo de cemento	Finura (cm ² /gr) ASTM C115	Calor de hidratación a 28 días (Cal/gr)
I	1790	87
II	1890	76
III	2030	105
IV	1910	60

Fuente: (8) ACI 211.1 1991

Luego de haber comprendido la importancia de la elección del cementante y haber definido que el material cementante es el principal componente que genera una reacción exotérmica en el concreto, los esfuerzos deben concentrarse en disminuir la cantidad de cemento a fin de reducir el calor generado por el concreto. Dentro de las alternativas para reducir la cantidad de cemento de la formulación de concreto, podemos indicar las siguientes:

- Uso de agregados con mayor TNM: Generalmente son las características geométricas y las disposiciones del refuerzo de las estructuras las que limitan el tamaño máximo del agregado que puede utilizarse. Sin embargo, también es necesario considerar la producción, el transporte y la trabajabilidad del concreto al momento de su colocación. Por definición y según lo indicado en el ACI 211.1 (8), p. 1 “los agregados de TNM de mayor tamaño tienen menos vacíos que los agregados más pequeños. Por lo tanto, los concretos con agregados de mayor tamaño requieren menos mortero por unidad de volumen de concreto”. Entonces de lo antes expuesto, se puede concluir que cuando se utiliza un agregado de mayor TNM se

utilizara menos cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto.

- Uso de aditivos reductores de agua: Por definición y según el ACI 116-00 (6), p. 116, se denominan reductores de agua, plastificantes, superplastificantes o fluidificantes al aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido de agua de un determinado concreto. En consecuencia, a una relación a/c constante, tendríamos una reducción de material cementante proporcional a la reducción de agua. El uso de un aditivo retardante de fragua es una opción técnicamente adecuada en vaciados de concreto masivo; puesto que la inclusión de este aditivo, retardaría y dispararía la normal generación de calor del concreto durante los primeros días luego del vaciado, lo cual provocaría un leve descenso en la temperatura pico del núcleo de concreto. Sin embargo, esta alternativa es muchas veces inviable debido al alto costo del aditivo y, por ende, el consecuente aumento del costo del concreto. A menos que se especifique lo contrario, no se debe utilizar aditivos acelerantes (9), p. 301, los cuales causarían una amplificación en los registros de temperatura obtenidos a edades tempranas.

1.2.4. Problemática del concreto masivo

La problemática envuelta en los vaciados de concreto masivo se da debido a la generación de calor del concreto provocada por el proceso de hidratación del cementante, el cual debe ser controlado adoptando las medidas adecuadas a fin de cumplir los requerimientos de desempeño de los elementos estructurales involucrados. Estas medidas condicionaran el diseño, las especificaciones del concreto y la ejecución de la estructura. El concreto genera calor debido al proceso de hidratación del material cementicio, lo cual es provocado por la reacción química que proporciona resistencia al concreto. Al igual que el desarrollo de la resistencia, la mayor

parte de la generación de calor ocurre en los primeros días después de la colocación. Para elementos delgados como pavimentos rígidos, la energía térmica se libera casi tan rápido como se genera; sin embargo, para secciones más gruesas, específicamente concreto masivo, el calor no puede liberarse tan rápido como se genera, este calor queda atrapado y genera un aumento de temperatura en el concreto. A medida que aumenta la temperatura del concreto, se genera más calor, lo cual aumenta aún más la temperatura del concreto. Posteriormente, el concreto comienza a enfriarse porque hay una cantidad finita de energía térmica en los materiales cementicios. Esta cantidad total de energía térmica depende de la cantidad y del tipo de materiales cementicios. Existen dos preocupaciones que involucran a los vaciados de concreto masivo: el agrietamiento por efectos térmicos y la formación de etringita diferida (DEF). A continuación, se describe con más detalle el desarrollo de los fenómenos térmicos en los vaciados de concreto masivo.

1.2.5. Fisuración por efectos térmicos

La cantidad variable de generación y disipación de calor hace que el interior de la sección de concreto se caliente más que su superficie. En otras palabras, se desarrolla una diferencia de temperatura entre el interior y la superficie. Esto genera esfuerzos térmicos en el interior del concreto (debido a que el interior del concreto se expande y la superficie se contrae). El agrietamiento ocurre inmediatamente cuando el esfuerzo a tracción excede la resistencia a la tracción del concreto, este agrietamiento se denomina agrietamiento por efectos térmicos. En la mayoría de los casos, el agrietamiento térmico es un problema de durabilidad porque proporciona vías fáciles para que el aire y el agua lleguen al acero de refuerzo y comience la corrosión. En algunos casos, donde los esfuerzos térmicos son importantes, la fisuración puede afectar la capacidad estructural del concreto (Figura 4 y 5).

Figura 4 - Ejemplo de agrietamiento térmico severo en la superficie superior de una cimentación.



Fuente: (10) Gajda, J.; Vangeem, E. 2006

Figura 5 - Una diamantina de concreto extraído de la base de una cimentación muestra el grado de fisuración térmica.



Fuente: (10) Gajda, J.; Vangeem, E. 2006

El agrietamiento térmico adopta muchas formas. En ubicaciones de grandes fundaciones puede aparecer como mapas de fisuras aleatorias. En las paredes puede aparecer como una serie de fisuras verticales que son más anchas cerca de la base. En las vigas, puede aparecer como fisuras espaciadas uniformemente perpendiculares a la dimensión más larga de la viga.

Según el ACI 207.1R-05 (5), para controlar la fisuración del concreto por estrés térmico, se debe restringir el delta térmico entre 14°C y 19°C, esto tomando en cuenta que el concreto contiene en promedio 139 kg/m³ de cemento y que el concreto carece de acero de refuerzo (límite hecho para trabajos de presas no reforzadas en Europa hace más de 75 años). De igual manera, el ACI 301-16 (6), limita el delta térmico en 19 °C para los vaciados masivos. Normalmente mantener un diferencial térmico de concreto en estos rangos es una labor difícil durante la construcción, tomando en cuenta que el concreto que se utiliza en elementos estructurales contiene más de 300 kg/m³ de cemento. Además, las tendencias recientes muestran secciones de mayor espesor y altos contenidos de cemento o bajas relaciones a/c, esto hace que el control de temperatura sea aún más difícil. Por lo que la máxima diferencia de temperatura permitida está en función de las propiedades mecánicas del concreto, como la expansión térmica, la resistencia a la tracción y el módulo elástico, así como el tamaño y las restricciones del elemento de concreto (11) p. 2.

1.2.6. Clasificación de los límites de temperatura máxima del concreto según su exposición.

De la bibliografía internacional revisada se encontró tres documentos que dan clasificaciones de límites de temperatura máxima del concreto a edades tempranas. Estos son el ACI 201.2R-2016 (EEUU) (12), la Guía Técnica del LCPC (Francia) (18) y las Especificaciones para hormigón masivo estructural del ICH (Chile). De estos documentos, el ICH se basa en el documento del LCPC (13) para determinar la clasificación de

temperaturas de los vaciados de concreto masivo, por lo cual en este ítem se desarrollará lo indicado en las recomendaciones del ACI y LCPC. Estas clasificaciones están basadas en las características físico-químicas del cemento, la temperatura máxima alcanzada en el núcleo de concreto y a la exposición ambiental de la estructura en su vida útil.

1.2.6.1. ACI 201.2R (EE.UU.)

El ACI 201.2R -16 (12), p. “Medidas recomendadas para reducir el potencial para DEF en concreto expuesto a elevadas temperaturas a edades tempranas” (Tabla 4) define una clasificación de temperaturas máximas admisibles en el núcleo de concreto en función a las características del cemento a utilizar.

Tabla 4 - Medidas recomendadas para reducir el potencial para DEF en concreto expuesto a elevadas temperaturas a edades tempranas

Temperatura máxima del concreto, Tmax	Prevención requerida
$T \leq 70^{\circ}\text{C}$	No requiere prevención

<p>70°C<T≤ 85°C</p>	<p>Usar uno de los siguientes enfoques para minimizar los riesgos de expansión:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Cemento Portland que cumple con los requerimientos de la ASTM C150/C150M de moderado o alta resistencia a los sulfatos y cemento de bajo álcali con valores de fineza menores o iguales a 430 m²/kg.2. Cemento Portland con resistencia de mortero a 1 día (ASTM C109/C109M) menor o igual a 2850 psi (20 MPa).3. Cualquier cemento portland ASTM C150/C150M en combinación con las siguientes proporciones de puzolana, cemento con escorias:<ol style="list-style-type: none">a. Mayor o igual a 25% de ceniza volante que cumpla con los requerimientos de ASTM C618 para ceniza volante clase F.b. Mayor o igual a 35% de ceniza volante que cumpla con los requerimientos de ASTM C618 para ceniza volante clase C.c. Mayor o igual a 35% de cemento de escoria que cumpla con los requerimientos ASTM C989/989M.d. Mayor o igual a 5% de humo de sílice (Cumpliendo con ASTM C1240) en combinación con al menos 25% de cemento de escoria.e. Mayor o igual a 5% de humo de sílice (cumpliendo con ASTM C1240) en combinación con al menos 20% de ceniza volante clase F.
------------------------	--

	<p>f. Mayor o igual a 10% metacaolin que cumpla con ASTM C618.</p> <p>4. Un cemento adicionado según ASTM C595/C595M o ASTM C1157M mezclado con cemento hidráulico con el mismo contenido de puzolana o cemento de escoria listado en el punto 3.</p>
T > 85°C	La temperatura interna del concreto no deberá exceder 185°F (85°C) bajo ninguna circunstancia.

Fuente: (12) ACI 201.2R

1.2.6.2. LCPC (Francia)

La Guía Técnica del Laboratoire Central des Ponts et Chaussées “Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne” (18) menciona recomendaciones constructivas a considerar en la etapa de diseño y construcción, así como precauciones a aplicar para la etapa de colocación y dosificación de concreto. Estas recomendaciones toman en cuenta lo siguiente:

- La categoría de la obra;
- Las condiciones medioambientales a las que estarán expuestas los elementos estructurales durante su vida útil;
- Las condiciones térmicas del concreto al momento de su colocación y durante su endurecimiento. Las precauciones a considerar están en función

del nivel de prevención definido para cada parte de la obra potencialmente “crítica” según la clase de exposición elegida. Estas recomendaciones solo se refieren a elementos de grandes estructuras de concreto en contacto con el agua o sometidas a un ambiente húmedo. Se trata de elementos masivos o “críticos” para las que el calor liberado durante la hidratación del cemento (el fraguado y el endurecimiento del concreto generan una liberación de calor debido a la naturaleza exotérmica de las reacciones de hidratación) es poco evacuado hacia el exterior, lo que conduce a un aumento significativo de la temperatura en el núcleo del concreto. El principio del procedimiento preventivo consiste en identificar los elementos del proyecto que son susceptibles de ser sometidos a un fenómeno de RSI (Reacción Sulfática Interna), para luego definir un nivel de prevención necesario en función de la categoría de la obra (Categorías I a III de la Tabla 5, traduciendo el nivel de riesgo que el cliente está dispuesto a aceptar) o de la parte de la obra y clases de exposición específicas a la RSI (Tabla 6, integrando la importancia de los parámetros de agua y humedad) traduciendo el medioambiente en el cual se encuentra el concreto. A cada nivel de prevención (As, Bs, Cs, Ds: Tabla 7 obtenidas cruzando clases de exposición y categorías de obra) corresponden a las precauciones a aplicar. Por lo tanto, deben aplicarse precauciones adaptadas a cada nivel de prevención para cada parte de la estructura en cuestión.

Tabla 5 – Categoría de obra

Categoría de obra	Nivel de consecuencia de aparición de RSI	Ejemplos de obras o de partes de la obra
I	Débiles o aceptables	• Obra de concreto de resistencia inferior a C16/20 ($f'c < 17\text{MPa}$).

		<ul style="list-style-type: none"> • Elementos no portantes en edificios. • Elementos fácilmente reemplazables. • Obras provisionales. • La mayoría de productos prefabricados no estructurales.
II	Poco tolerables	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos portantes de la mayoría de edificios y obras de Ingeniería Civil (puentes convencionales). • La mayoría de productos prefabricados estructurales (Incluyendo las tuberías de baja presión).
III	Inaceptables o casi inaceptables	<ul style="list-style-type: none"> • Edificios reactores de centrales nucleares. • Presas, túneles. • Puentes y viaductos de gran importancia. • Edificios patrimoniales. • Traviesas de ferrocarril.

Fuente: (18) LCPC

Nota: La categoría de la obra depende de su utilización y del nivel de consecuencia en término de seguridad que el cliente está dispuesto a aceptar.

Tabla 6 - Clases de exposición del elemento de la obra frente a la RSI.

Clase de exposición	Descripción del medioambiente	Ejemplos informativos
XH1	Seco o humedad moderada	<ul style="list-style-type: none"> • Parte de una estructura de concreto situada al interior de edificios donde el porcentaje de humedad relativa es baja o media. • Parte de una estructura de concreto situada al exterior y expuesta a la lluvia.
XH2	Alternancia de humedad y secado , humedad elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Parte de una estructura de concreto situada al interior de edificios donde el porcentaje de humedad relativa es alta. • Parte de una estructura de concreto no protegida por un revestimiento y sometida a la intemperie sin estancamiento en la superficie. • Parte de una estructura de concreto no protegida por un revestimiento y sometida a frecuentes condensaciones.

XH3	En contacto constante con el agua: inmersión permanente, estancamiento de agua en la superficie, zona de marea.	<ul style="list-style-type: none"> • Parte de una estructura de concreto sumergido permanentemente en agua (pilotes, fundaciones). • Elementos de estructuras marinas. • Algunas fundaciones. • Parte de una estructura de concreto regularmente expuesta a salpicaduras de agua.
-----	---	---

Fuente: (18) LCPC

Nota: Estas clases de exposición específicas a la RSI deben ser especificadas en los planos para cada parte de la obra susceptible de ser sometida a un fenómeno de RSI.

Tabla 7 - Elección del nivel de prevención

Categoría de la obra	Clase de exposición		
	XH1	XH2	XH3
I	As	As	As
II	As	Bs	Cs
III	As	Cs	Ds

Fuente: (18) LCPC

Nota: La elección del nivel de prevención para cada parte de una estructura es responsabilidad del cliente. El nivel de prevención debe ser especificado en las EETT. Dentro de la obra, las partes susceptibles de ser sometidas a fenómenos de RSI pueden ser objeto de prevenciones diferentes.

Las precauciones se modulan en función del nivel de prevención. Se refieren principalmente a la temperatura máxima del concreto que se debe respetar. También es posible tomar precauciones sobre el diseño de mezcla si fuera necesario.

Las precauciones a aplicar dependen de cada nivel de prevención en orden ascendente de exigencias de As a Ds. Básicamente, su objetivo es limitar la temperatura máxima que probablemente se alcanzara en el núcleo de la sección crítica de concreto. A modo de ejemplo:

Las precauciones a aplicar para el caso más común, es decir el nivel de prevención As, son las siguientes:

- ✓ La temperatura máxima (TMAX) admisible en el centro del elemento de concreto debe ser inferior a 85 °C.

Para el nivel de prevención Bs, una de las dos precauciones siguientes debe ser aplicada en obra:

- ✓ La temperatura máxima (TMAX) admisible en el centro del elemento de concreto debe ser inferior a 75 °C.
- ✓ Si TMAX no es inferior a 75°C, la temperatura debe ser inferior a 85 °C y una de las condiciones siguientes debe ser aplicada:

El tratamiento térmico es acelerado, la duración de mantención de la temperatura del concreto más allá de 75°C no debe exceder 4 horas y los alcalinos equivalentes activos del concreto deben ser inferior a 3 kg/m³. (La duración de mantención es definida como

el periodo durante la cual la temperatura es superior a 75°C).

Utilización de un cemento adaptado o de un cemento combinado con adiciones.

Verificación de la durabilidad del concreto frente a la RSI con la ayuda del ensayo de desempeño (18).

Tabla 8 - Precauciones a aplicar frente a la RSI

Nivel de prevención	Temperatura máxima del concreto, T_{MAX}	Temperatura límite del concreto, T_{LIMITE}	Condiciones a respetar si la temperatura está comprendida entre T_{MAX} y T_{LIMITE}
As	85 °C	90 °C	<ul style="list-style-type: none"> En el caso de un tratamiento térmico acelerado (podría ser realizado en una fábrica de concreto pre fabricado): se permite una temperatura (T_{MAX}) superior a 85°C hasta 90°C, a condición de que la duración de una temperatura superior a 85°C se limite a 4 horas.
Bs	75 °C	85 °C	<ul style="list-style-type: none"> El tratamiento térmico es acelerado, la duración de mantención de la temperatura del concreto más allá de 75°C no debe

			<p>exceder 4 horas y los alcalinos equivalentes activos del concreto deben ser inferior a 3 kg/m³. (La duración de mantención es definida como el periodo durante la cual la temperatura es superior a 75°C) o;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cemento adaptado o cemento combinado con adiciones o; • Ensayo de desempeño.
Cs	70 °C	80 °C	<ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento térmico es acelerado, la duración de mantención de la temperatura del concreto más allá de 70°C no debe exceder 4 horas y los álcalis equivalentes activos del concreto deben ser inferior a 3 kg/m³. (La duración de mantención es definida como el periodo durante la cual la temperatura es superior a 70°C) o;

			<ul style="list-style-type: none"> • Cemento adaptado o cemento combinado con adiciones o; • Ensayo de desempeño
Ds	65 °C	75 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento adaptado y • Validación del diseño de mezcla por un laboratorio independiente experto en RSI.

Fuente: (18) LCPC

T_{MAX}: temperatura máxima del concreto esperada en el núcleo de la sección de concreto

T_{LIMITE}: temperatura límite del concreto que no puede ser superada.

Tabla 9 - Tipos de cemento según el nivel de prevención

Nivel de prevención	Cemento adaptado
Bs	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento conforme a la norma NF P 15-319 (ES) (Nota 1). • CEM II / B-V ; CEM II / B-S ; CEM II / B-Q ; CEM II/B-M (S-V) ; CEM III/A ; CEM V (Nota 2). • CEM I en combinación con cenizas volantes, escorias de alto horno, puzolanas naturales calcinadas (Nota 3). • Proporción de adiciones superiores a 20% (Nota 4).
Cs	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento conforme a la norma NF P 15-319 (ES) (Nota 1). • CEM II / B-V ; CEM II / B-S ; CEM II / IB-C ; CEM II / B-M (S-V) ; CEM III / A ; CEM V (Nota 2). • CEM I en combinación con cenizas volantes o escorias de alto horno, puzolanas naturales calcinadas (Nota 3) y proporción de adiciones superior a 20% (Nota 4).
Ds	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento conforme a la norma NF P 15-319 (ES) (Nota 1).

Fuente: (18) LCPC

• **Nota 1:** En el caso de CEM I y CEM II/A, contenido de álcalis activos equivalente en el concreto es limitado a 3 kg/m³.

- **Nota 2:** Cemento con contenido de SO₃ inferior a 3% y con C3A del Clinker inferior a 8%.
- **Nota 3:** El CEM I debe respetar un C3A (Especificación técnica del cemento) inferior a 8% y SO₃ inferior a 3%.
- **Nota 4:** La proporción de adiciones debe respetar las especificaciones de la norma NF EN 206-1.

Este documento propone disposiciones para limitar los riesgos potenciales de reacción sulfática interna (RSI):

- A nivel de diseño y dimensionamiento de estructuras: evitando zonas de estancamiento de agua, protegiendo el concreto mediante impermeabilización y favoreciendo los elementos huecos.
- A nivel de la formulación de la mezcla de concreto, es preferible escoger cementos de bajo calor de hidratación.
- Para la fabricación del concreto se debe considerar el enfriamiento de agregados, uso de agua a bajas temperaturas y la reducción del tiempo en el transporte del concreto.
- Para la colocación del concreto, es recomendable evitar el vaciado de concreto en periodos de alta temperatura ambiental y privilegiar los encofrados que no aíslan la temperatura.

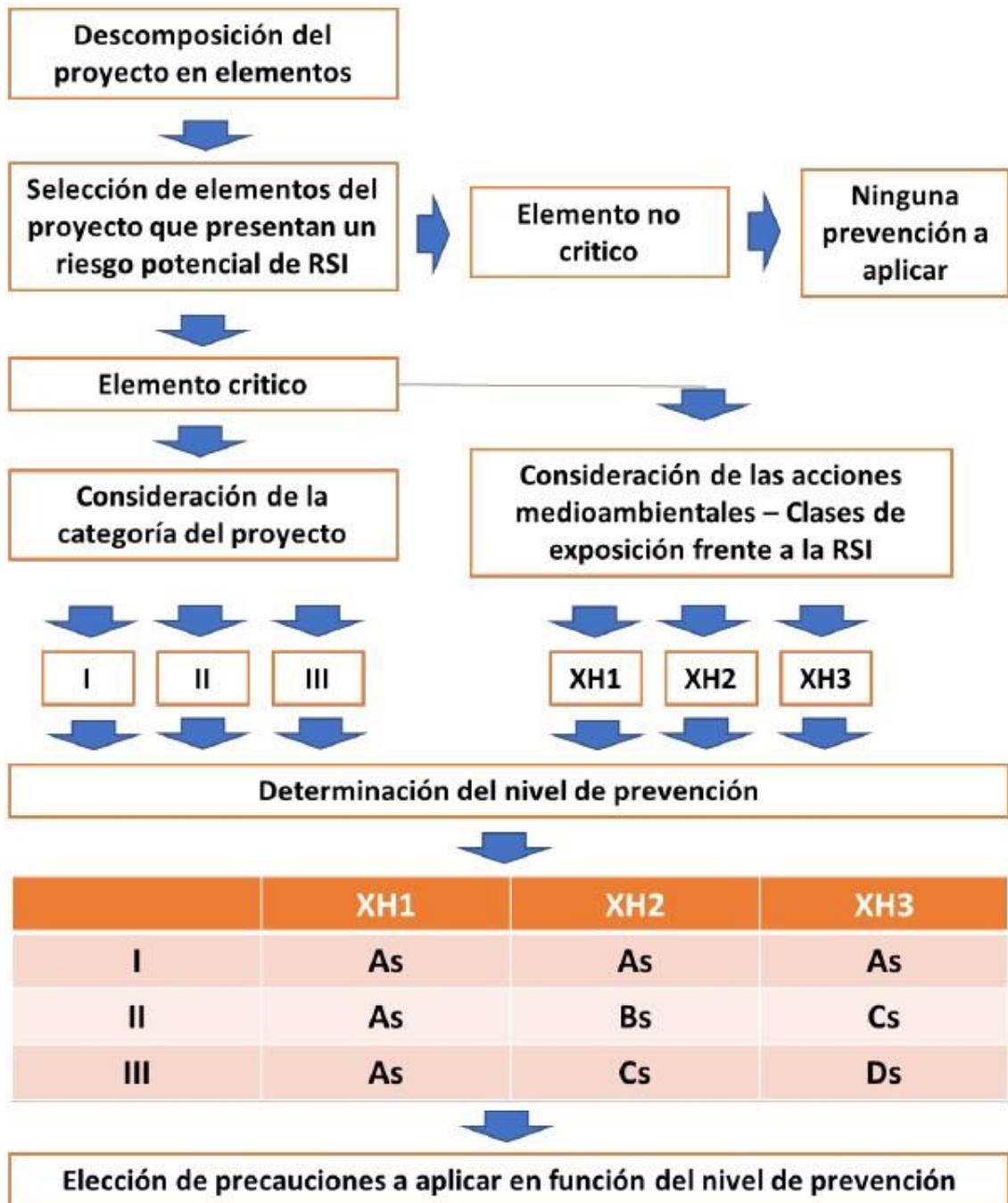
Estas disposiciones deben permitir:

- Limitar la temperatura máxima en el núcleo de concreto
- Evitar los contactos prolongados del concreto con el agua.

El LCPC ha desarrollado un ensayo de desempeño acelerado en el concreto (18) permitiendo evaluar la durabilidad del concreto “Formulación de la mezcla y calentamiento del concreto” frente a la formación de etringita diferida seguida de su expansión, adaptada a las condiciones de ejecución, como el ciclo de tratamiento térmico aplicado al concreto durante el

vaporizado en una planta de prefabricación y el calentamiento de un elemento de concreto masivo colocado in situ. Esta prueba de 12 a 15 meses de duración, consiste en caracterizar el riesgo de expansión del concreto con respecto al RSI. Valida una formulación de concreto determinando su reactividad potencial a la formación de etringita diferida.

Figura 6 - Diagrama de flujo para la determinación del nivel de prevención frente al riesgo de RSI.

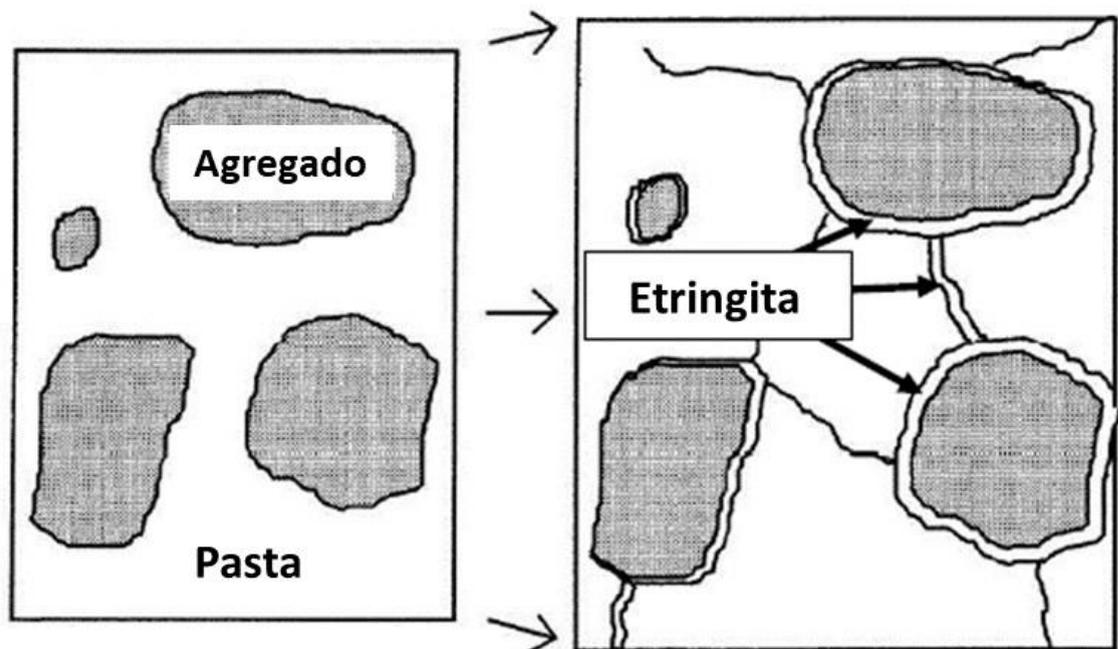


Fuente: (19) CIM-béton

1.2.7. Formación de Etringita Diferida (DEF)

La otra preocupación es la causada por la elevada temperatura a la que el concreto puede llegar a edades tempranas, estas altas temperaturas modifican la reacción de hidratación del cemento.

Figura 7 - Mecanismo de la expansión del DEF



Fuente: (5) Peña Torres, Pablo Jhoel 2020

A temperaturas superiores de 70°C (158°F) se podrían desarrollar productos de hidratación inestables en algunos concretos. Esto se conoce como una reacción sulfática interna (RSI) que es definida como la formación de etringita diferida (DEF: Delayed Ettringite Formation) en un material cementicio. En los concretos donde se produce DEF, los productos de hidratación inestables pueden eventualmente comenzar a expandirse dentro del concreto en estado endurecido. Este es un efecto a largo plazo

que puede no ocurrir durante meses o años después del vaciado de concreto sin aporte de sulfato externo. En su peor forma, el DEF puede causar un agrietamiento significativo en la estructura de concreto (Figura 7 y 8) (11).

Figura 8 - DEF en una columna en San Antonio, Texas



Fuente: (13) Folliard, K. J. 2008

Figura 9 - Fisuras producidas por DEF en Pilar de Puente



Fuente: (14) Divet, L.; Pavoine, A. 2002

Se debe entender que en el concreto siempre hay etringita (trisulfato-aluminato de calcio hidratado) y necesita el consumo de grandes cantidades de agua. En el concreto se distinguen tres tipos de etringita:

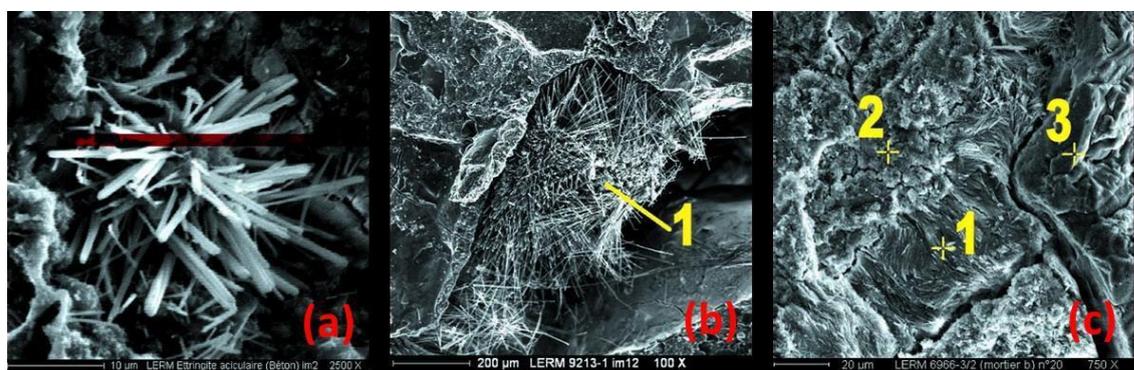
- **Etringita Primaria:** Se forma en los primeros instantes de hidratación del cemento bajo la acción de sulfatos de origen interno del concreto (los sulfatos de calcio introducidos en el cemento como regulador de fraguado reaccionan al contacto del agua con el aluminato tricálcico C3A y dan lugar a la etringita primaria). Nunca es expansivo ni patológico. Luego se descompone para formar monosulfo-aluminato de calcio. Se presenta más comúnmente en forma de agujas.
- **Etringita Secundaria:** Se desarrolla cuando el concreto se encuentra en estado endurecido. Si los sulfatos son de origen interno, la etringita es estable y no es de carácter expansivo. Si los sulfatos son de origen externo, la etringita puede generar expansión.
- **Etringita Diferida:** Se desarrolla cuando el concreto se encuentra en estado endurecido. Puede provocar o no expansión. Los iones

sulfatos son de origen interno. Se trata de un concreto en el que la etringita primaria no pudo formarse en los primeros instantes de hidratación. Esta formación de etringita genera esfuerzos internos en el concreto, que pueden ser lo suficientemente grandes como para provocar su microfisuración y en última instancia, su hinchamiento. Son muchas las condiciones que deben cumplirse, tanto a nivel de los componentes del concreto, como el incremento térmico y humedad del ambiente, para que aparezca este tipo de etringita, lo que explica su rareza.

Figura 10 – (a) Etringita primaria no expansiva en pasta de cemento, vista bajo un microscopio electrónico de barrido; (b) Etringita secundaria no expansiva en un poro

(1), vista con un microscopio electrónico de barrido; (c) Etringita expansiva (1 y 2) en

contacto con un agregado (3), visto bajo un microscopio electrónico de barrido



Fuente: (15) Carde, C. 2007

Es necesario distinguir el fenómeno de reacción sulfática interna (RSI), del fenómeno de reacción sulfática externa (RSE), conocido desde 1887 y señalado por Candlot debido a observaciones en los morteros reforzados de París cuando estaban en contacto con una mezcla de agua y yeso. En el caso de la RSE, las fuentes de sulfatos pueden ser aportadas por los suelos, mediante sales de deshielo o ser transportadas por agua

subterránea, agua de filtración, agua de mar o agua generada por sitios industriales. Los sulfatos penetran a través de la red capilar del concreto y pueden causar la formación de la llamada etringita “secundaria” que puede generar fenómenos de expansión y, por lo tanto, degradaciones del concreto. Entonces, en el caso de la RSE, se genera una degradación progresiva desde la superficie hasta el núcleo del elemento de concreto. En ciertos casos, cuando el concreto sufre un aumento de temperatura a edad temprana, puede aparecer el fenómeno de la reacción interna del sulfato (RSI), y esto, sin la contribución del sulfato por una fuente externa. El DEF puede ocurrir en 2 tipos de concreto: concretos tratados térmicamente (por ejemplo, los elementos prefabricados) y concretos de secciones importantes vaciados en obra: secciones de concreto para las cuales el calor liberado se descarga parcialmente hacia el exterior y conduce a una elevación importante de la temperatura del concreto. Para prevenir el DEF, la regla general es mantener la temperatura del concreto a menos de 70°C (158°F) o utilizar los rangos establecidos en el ACI 201.2R-16 (12). La gran mayoría de iones de sulfato de origen interno proveniente del cemento y bajo ciertas condiciones, pueden disolverse en la solución intersticial del concreto. La reacción sulfática involucra a estos iones de sulfato presentes en la solución intersticial, así como a los aluminatos del cemento, y puede conducir a la formación de etringita susceptible de provocar la expansión en el concreto endurecido. El fenómeno de expansión sulfática interna puede manifestarse por la aparición de fisuración multidireccional formando una malla relativamente grande de 10 a 30cm en la superficie de concreto. Para lograr la reacción sulfática interna (RSI) es esencial la conjunción de varios parámetros para iniciar y desarrollarla. Los parámetros principales son el agua, la temperatura y su tiempo de retención, el contenido de sulfato y aluminato del cemento, así como el contenido de álcali del concreto:

- **Agua y humedad:** Se puede constatar, tanto en laboratorio como en obras, el rol fundamental del agua en el desarrollo de la reacción.

El agua es un medio reactivo necesario para el desarrollo de la reacción. El agua y la humedad intervienen también en los procesos de transferencia, así como en la formación de productos de reacción. La RSI afecta principalmente las partes de las estructuras en contacto con el agua (zona sumergida, zona de mar) o sometidos a afluencia de agua (falta de estanqueidad, ausencia de drenaje, etc), incluso expuestas a un alto nivel de humedad.

- **Temperatura y tiempo de retención:** La temperatura máxima alcanzada y su duración en el tiempo condicionan el riesgo de formación de etringita diferida. Se ha mostrado en laboratorio que; si la temperatura supera los 65°C y si los otros parámetros primordiales están presentes, generalmente se desarrolla una RSI. Así, una elevada temperatura del concreto durante el fraguado y la madurez es una condición indispensable pero que no es suficiente.
- **Contenido de sulfatos y aluminatos del cemento:** Los sulfatos y los aluminatos intervienen directamente en el mecanismo de reacción para formar la etringita que es un trisulfoaluminato de calcio hidratado. En consecuencia, la RSI solo es posible si el cemento utilizado contiene suficiente aluminato tricálcico ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$) y de sulfato SO_3 .
- **Contenido de álcalis del concreto:** Su rol en la solubilidad de la etringita es bien conocido. La etringita es más soluble cuando aumenta el contenido alcalino. Debido a la variación de la solubilidad de la etringita con la temperatura, existe una fuerte interacción entre estos dos parámetros durante el proceso de la RSI. De igual manera, una disminución en el contenido de álcali aumentaría el valor crítico de la temperatura. Es necesario remarcar que muchas estructuras de concreto son relativamente inmunes a los efectos del DEF. Tales elementos incluyen aquellas aisladas del agua (por ejemplo, estructuras impermeabilizadas) o algunas que contienen materiales cementicios con cierta química resistente (como una mayor

proporción de cenizas volantes o puzolanas). Se pueden realizar pruebas para determinar si el concreto alcanzará altas temperaturas al momento de su colocación, de acuerdo a lo indicado en el Eurocode 2 (EN 1992-3:2006) (16) dentro del ítem relacionado a la evolución de calor y desarrollo de temperatura por hidratación, el cual indica lo siguiente: “Cuando las condiciones durante la fase de construcción se consideren significativas, las características de generación de calor de un cemento en particular usualmente deben obtenerse de ensayos. La evolución real de calor debe determinarse teniendo en cuenta las condiciones esperadas durante el tiempo de vida inicial del elemento (por ejemplo, curado, condiciones ambientales). El aumento máximo de temperatura y el tiempo de ocurrencia después del vaciado deben establecerse a partir del diseño de la mezcla, la naturaleza del encofrado, las condiciones ambientales y las condiciones de contorno”.

Figura 11 - Bloque experimental de concreto masivo.



Fuente: (17) Bobko, C. P.; Seracino, R.; Zia, P.; Edwards, A. 2014

Cuando se pueda demostrar que el DEF no es una preocupación, se justifican temperaturas más altas; sin embargo, las temperaturas superiores a 85°C (185°F) pueden reducir las propiedades estructurales del concreto (resistencia y módulo de elasticidad).

1.2.8. Medición de la temperatura del concreto en campo

En la “Guía de especificación de concreto masivo” (20) encontramos información, que la temperatura generalmente se mide por medio de termocuplas tipo k, estas termocuplas que son utilizadas por su alta resistencia térmica. Son instaladas en puntos específicos de la geometría de los encepados donde se requiere tomar mediciones; generalmente se posicionan en el centro del elemento, en una de las puntas y a un costado del mismo. Las termocuplas se conectan con un terminal llamado DATALOGGER, donde se programa la toma de datos y registra automáticamente cada cierto tiempo de la temperatura del elemento en el que se encuentre instalado de hasta 4 termocuplas para procesar la información y tener datos a tiempo real. La geometría de las estructuras a estudiar es analizada estratégicamente para definir puntos donde se tomarán los datos, esto se debe a que en el núcleo de la estructura por su densidad y confinamiento se presentan mayores incrementos de

temperatura comparado con las puntas del elemento, probablemente porque no tiene contacto con la temperatura ambiente, la altura a la que se toman los datos también debe variar para conocer en diferentes puntos el comportamiento de la temperatura. Al tener toda la información (temperatura ambiente y de la estructura) definida en el tiempo establecido se analizará estadísticamente los datos arrojados por los DATALOGGER y así conocer en el tiempo cuando la temperatura del elemento es $\pm 10^{\circ}\text{C}$ comparado con el ambiente, para evaluar el momento indicado donde la posibilidad de agrietamientos y fisuras sea el menor. La evaluación termodinámica del concreto, en especial, en concretos masivos, ayuda al control de la resistencia del concreto in situ, determina los tiempos de fraguado en los elementos estructurales de concreto, control por desempeño y prevención de fisuración por causa térmica, análisis de la temperatura ambiente sobre los concretos masivos, mejora de la gestión y logística para llevar a cabo los vaciados en el concreto masivo.

1.3. Definición de términos básicos.

Concreto masivo: Cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen medidas preventivas para contrarrestar la generación de calor debido a la hidratación de cemento causando cambios volumétricos, que ocasionen fisuras o grietas.

Delta térmico: La diferencia entre las temperaturas del núcleo y superficie del concreto masivo. Esto genera esfuerzos térmicos en el interior del concreto, que puedan generar la fisuración y agrietamiento del concreto.

Etringita Diferida (DEF): Es el compuesto que se forma por la reacción de sulfatos contenidos en el hormigón o en el medio ambiente con los aluminatos presentes en el cemento. Su composición química es: $6\text{CO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Bajo ciertas condiciones puede expandir su volumen dentro de los poros del concreto, causando fisuración.

Reacción interna del sulfato (RSI): La reacción en la cual se forma DEF. Mayormente ocurre en condiciones de elevada temperatura del concreto durante hidratación temprana del cemento. No necesita fuente externa de los sulfatos.

Termocupla: es uno de los sensores más importantes utilizados en la medición de temperatura en los más variados segmentos industriales. Son los sensores de temperatura simple, y de bajo costo utilizados en los más variados procesos, ya que su capacidad de medición se puede aplicar a un amplio rango de temperatura. Es muy útil en la medición de la temperatura del concreto durante el fraguado, gracias a la posibilidad de monitorear sus lecturas a través de los cables conectadas con un transductor, dando posibilidad de captación de lecturas dentro del concreto y completamente digital. Su relativamente bajo costo hace posible que las termocuplas se usen solamente una sola vez, quedándose atrapadas dentro del concreto endurecido.

CAPITULO II: Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema.

En la Ciudad de Iquitos desde el año 2017 se llevó a cabo la obra del proyecto de inversión pública "CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO I: BELLAVISTA – SANTO TOMÁS (PUENTE NANAY Y VIADUCTOS DE ACCESO)" que forma parte del proyecto "CONSTRUCCION DE LA CARRETERA BELLAVISTA - MAZAN - SALVADOR - EL ESTRECHO", con Código SNIP 396, tiene como Unidad Formuladora al Proyecto Especial Binacional Desarrollo Integral de la Cuenca del río Putumayo, PEDICP, del Ministerio de Agricultura, y como Unidad Ejecutora al MTC- PROVIAS descentralizado (PVD). Hasta la fecha se realizó el primer tramo. Inicia en Bellavista, en la Av. La Marina, cruza el río Nanay y termina en el poblado de Santo Tomás. El tramo I está conformado por los siguientes componentes:

Componente 1: Puente atirantado de 437.60 m de longitud, de 3 tramos, con una luz central de 241.50 m.

Componente 2: Viaducto de 1,184 m de longitud y 14.80 m de ancho, conformado por varios módulos de vigas continuas, de sección mixta, con vigas de acero y losa de concreto armado. Los módulos típicos son de 4 tramos de 48 m de luz, de planta recta y curva, conforme se muestra en el plano. En los extremos se ha proyectado tramos de menor luz, por razones de gálibo.

Componente 3: Viaducto de 319.90 m de longitud, de estructura similar al viaducto de la margen derecha.

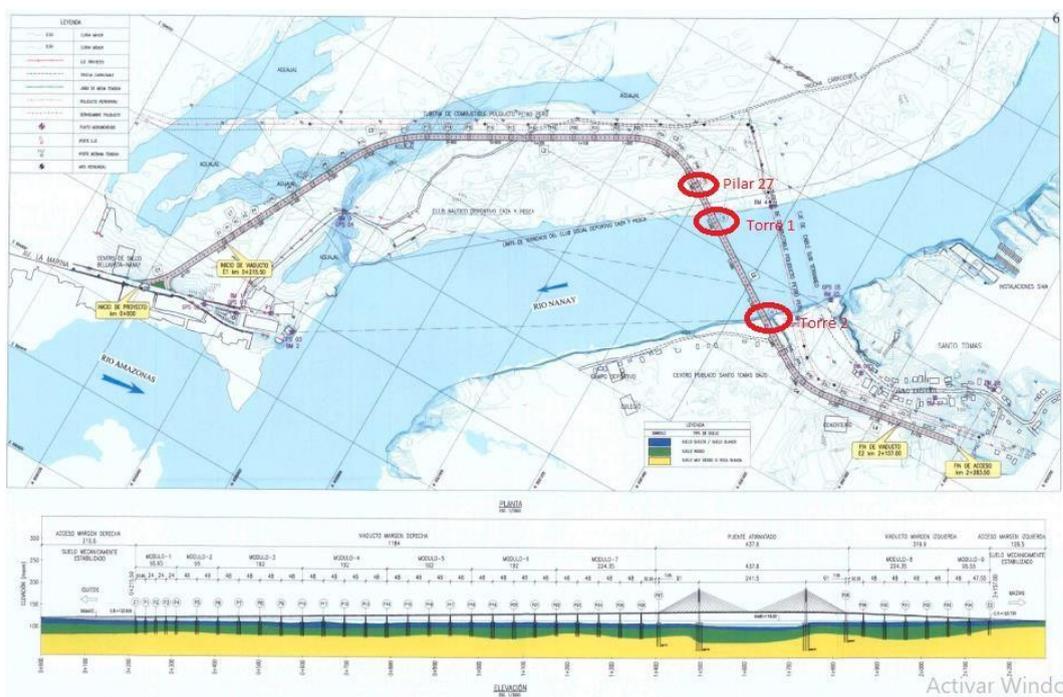
Componente 4: Vía de dos carriles, de 14.80 m de ancho total, sobre un relleno se suelo mecánicamente reforzado con geomallas, de 215 m de longitud.

Componente 5: Es un acceso provisional, para empalmar temporalmente con el terreno existente.

Se debe tener en cuenta, que durante 6 a 7 meses de año (enero-julio), la zona de la margen derecha es inundable, y la margen izquierda en menor medida.

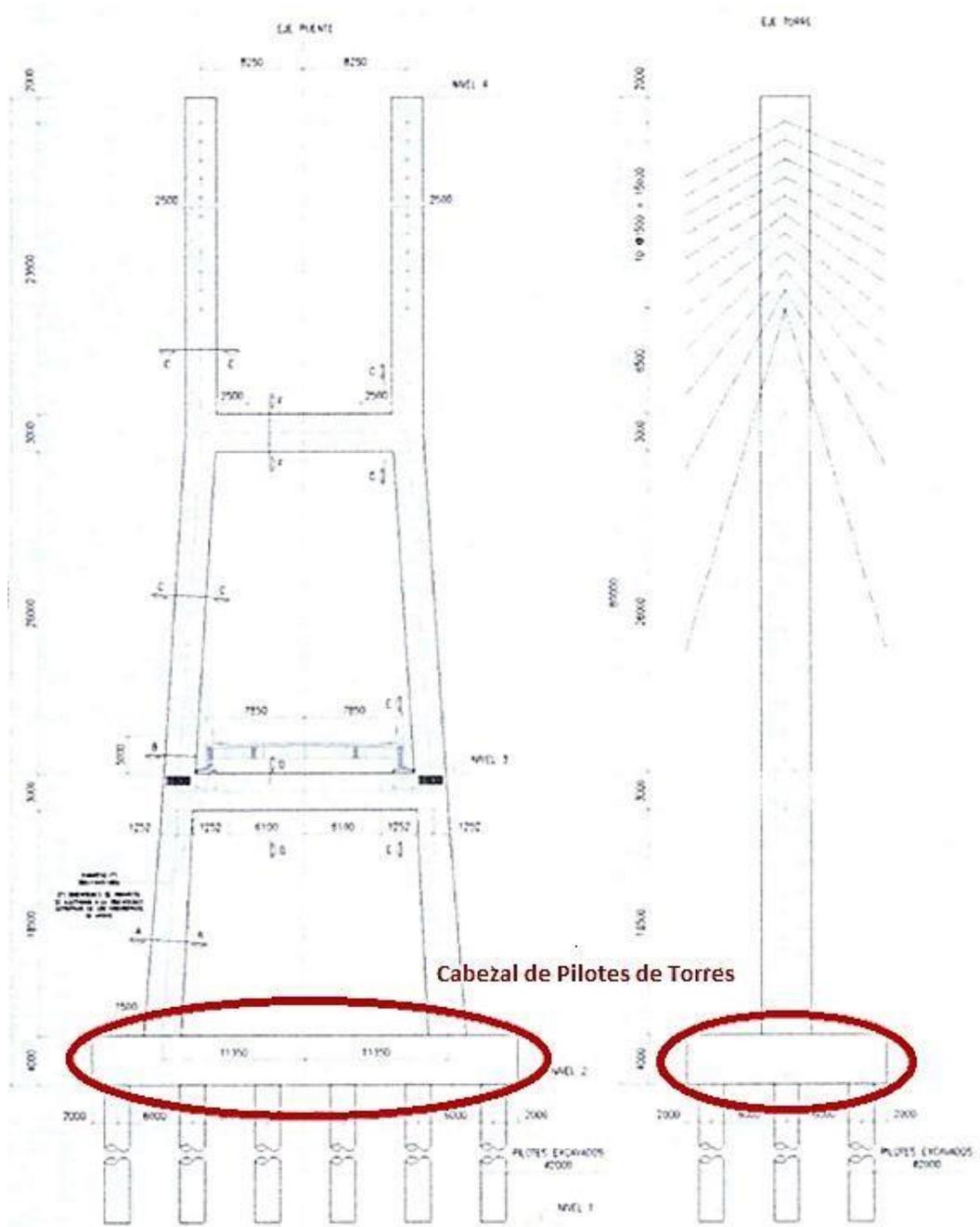
En la construcción del puente en gran escala se usó elementos estructurales del concreto masivo. En la tesis se pretende investigar tres estructuras, que son: Viga Cabezal del Pilar 27, Zapatas de Torre 1 y 2, donde se tomó junto con el Consorcio Puente Nanay las lecturas de las temperaturas del fraguado de dichos elementos. Se pretende dar a conocer como se comportó concreto masivo en condiciones climáticas y con materiales accesibles en la zona.

Figura 12 - Ubicación de los elementos estructurales del concreto masivo por investigar



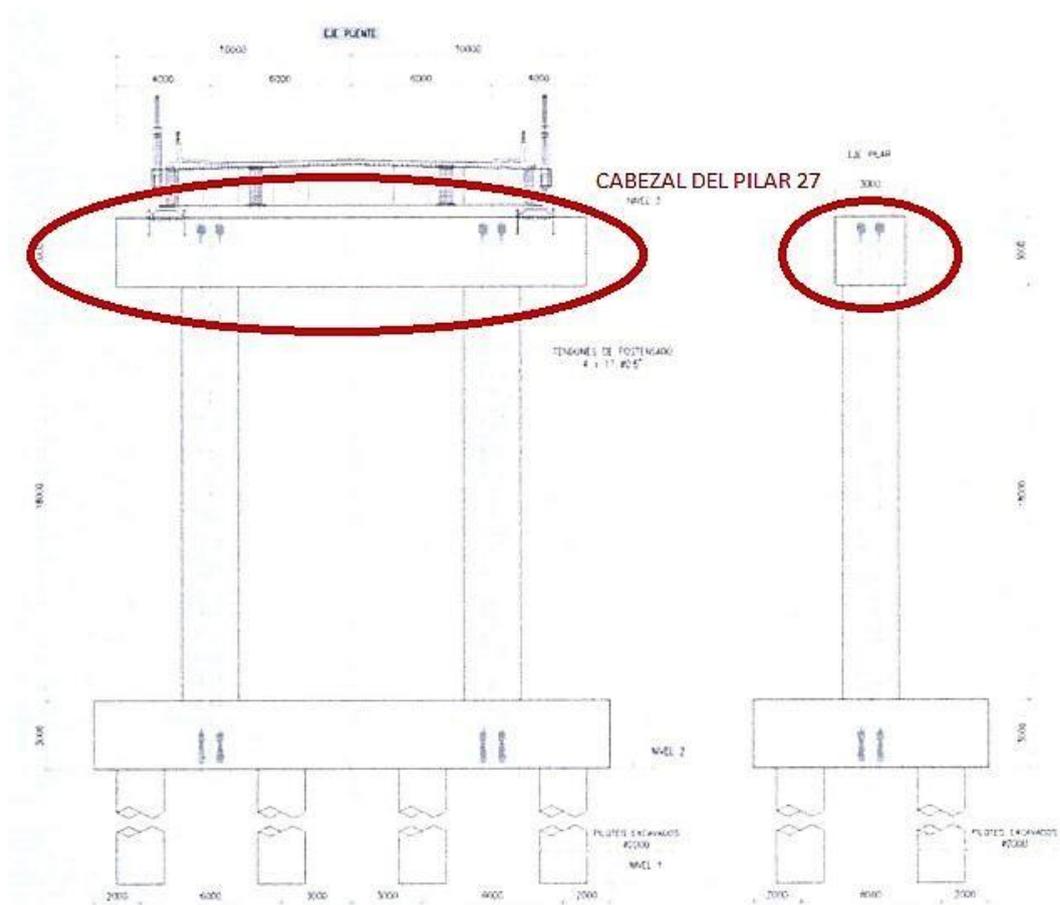
Fuente: (21) Informe final - Puente Nanay y Viaductos de Acceso - Memoria Descriptiva

Figura 13 – Ubicación de Cabezales de Pilotes de Torres en el plano de elevación.



Fuente: (21) Informe final - Puente Nanay y Viaductos de Acceso - Memoria Descriptiva

Figura 14 – Ubicación de la Viga Cabezal del Pilar en el plano de elevación.



Fuente: (21) Informe final - Puente Nanay y Viaductos de Acceso - Memoria Descriptiva

2.2. Formulación del problema.

2.2.1. Problema general.

¿Cuáles fueron los comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas-Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?

2.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cuáles fueron las deltas térmicos (diferencias entre temperaturas de los núcleos y superficies) del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes de Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?
- ¿Cuáles fueron las temperaturas máximas del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?
- ¿Se cumplen las exigencias de las normas ACI y LCPC con respecto a las condiciones térmicas de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?

2.3. Objetivos.

2.3.1. Objetivo general.

Conocer los comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.

2.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar los deltas térmicos (diferencias entre temperaturas de los núcleos y superficies) del concreto masivo durante su fraguado en

las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.

- ✓ Determinar las temperaturas máximas del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.
- ✓ Determinar si se cumplen las exigencias de las normas ACI y LCPC con respecto a las condiciones térmicas de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.

2.4. Hipótesis.

H₁: “Comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay fueron favorables y cumplieron las normativas pertinentes”.

2.5. Variables.

2.5.1. Identificación de variables.

Variables independientes X:

X₁: Composición del concreto fresco

X₂: Volumen y forma de la estructura del concreto masivo

X₃: Categoría de obra, clase de exposición de la estructura

Variables dependientes Y:

Y₁: Temperatura del concreto fresco durante fraguado dentro del núcleo y en la superficie de la estructura masiva

Y₂: Cumplimiento de los criterios de los límites de temperatura.

2.5.2. Definición conceptual y operacional de las variables.

Variables independientes X:

X₁: Composición del concreto fresco

Composición del concreto fresco se refiere a tipos y proporción de los componentes del concreto, como: cemento, agregados, agua y aditivos. Existen varios tipos y clasificaciones de los cementos, agregados y aditivos. Sus cantidades se miden en peso o volumen del componente por metro cúbico del concreto fresco.

X₂: Volumen y forma de la estructura del concreto masivo

Volumen y forma de la estructura del concreto masivo se refiere al volumen y forma geométrica del encofrado del vaciado de un elemento estructural. A mayor volumen y menor superficie externa de disipación del calor, la temperatura del concreto durante el fraguado será mayor.

X₃: Categoría de obra, clase de exposición de la estructura

Categoría de obra se refiere a la importancia, uso, exigencia de seguridad, vida útil etc. Clase de exposición es la forma en la que estructura está sometida a factores ambientales. Categoría de obra y clase de exposición están catalogadas según LCPC (18) adoptando simbología (ver tablas 5, 6 y 7, pág 36-39).

Variable dependiente Y:

Y₁: Temperatura del concreto fresco durante fraguado dentro del núcleo y en la superficie de la estructura masiva

Temperatura del concreto fresco se mide mediante termocuplas posicionadas en diferentes partes del concreto masivo (en parte cercana al centro de masa, o sea núcleo y en la parte superficial).

Y₂: Cumplimiento de los criterios de los límites de temperatura.

Criterios de los límites de temperatura dependen de la normativa usada. En la presente tesis se usará criterios del American Concrete Institute (ACI) de los Estados Unidos y Laboratoire Central des ponts et chaussées (Laboratorio Central de puentes y caminos) (LCPC) de Francia.

2.5.3. Operacionalización de las variables.

Tabla 10 - Operacionalización de Variables

Variables	
Independientes X:	Indicadores X
Composición del concreto fresco	<ul style="list-style-type: none"> - Tipos y variedades de los cementos, agregados y aditivos - Peso y/o volumen del material por metro cúbico del concreto (kilogramos y/o litros por metro cúbico)

Volumen y forma de la estructura del concreto masivo	<ul style="list-style-type: none"> - Volumen en metros cúbicos - Superficie externa en metros cuadrados
Categoría de obra, clase de exposición de la estructura	- Simbología (ver tablas 3, 4 y 5, pág 32-35)
Dependientes Y:	Indicadores Y
Temperatura del concreto fresco durante fraguado dentro del núcleo y en la superficie de la estructura masiva	- Temperatura en grados Celsius
Cumplimiento de los criterios de los límites de temperatura.	- Valor lógico: SI CUMPLE o NO CUMPLE

CAPITULO III: Metodología

3.1. Tipo y diseño de investigación.

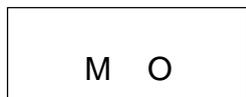
• Tipo de Investigación

Investigación cuantitativa porque se recolectó y analizó datos de los ensayos obtenidos sobre la temperatura del concreto masivo.

Diseño de Investigación.

El diseño de la investigación es de diseño no experimental, porque no se manipuló variables independientes. Las condiciones del diseño del puente y diseño de mezcla de concreto son predeterminadas por el proyectista y/o contratista de la obra.

Esquema:



Donde:

M: Muestra

O: Observaciones

Realizar la observación a cada variable en forma independiente y describirlas (medir cada variable independientemente).

3.2. Población y muestra.

- ✓ **Población**

Los concretos masivos de los elementos estructurales del Puente Nanay

- ✓ **Muestra**

Los concretos masivos de Viga Cabezal del Pilar 27 y Cabezales de Pilotes de las Torres 1 y 2 del Puente Nanay

3.3. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.

- ✓ **Técnicas de Recolección de Datos.**

Técnicas: La técnica que se empleará en la recolección de los datos es la observación, tanto para la observación visual de muestras y la lectura de los resultados de los ensayos en campo.

- ✓ **Instrumentos de Recolección de datos.**

Instrumentos: Lista de cotejo, y cuadros de datos

- ✓ **Procedimientos de Recolección de Datos.**

Implementar la investigación con los insumos e instrumentos adecuados

Elaboración del instrumento de recolección de datos.

Recoger la información.

Procesamiento de la información.

Análisis e interpretación de la información.

Elaboración del informe.

Presentación del informe.

Sustentación del informe final de tesis.

3.4. Procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento de los datos se puede realizar en forma manual y computarizada sobre el plan de tabulación.

- ✓ Para la recopilación inicial de la Tesis se usarán los paquetes básicos de escritorio de Microsoft, (Word, Excel, PPT, Etc), para el desarrollo regular de digitación de información.
- ✓ Para el análisis e interpretación de los datos, y análisis estadísticos, se empleará la estadística descriptiva.

CAPITULO IV: Resultados.

4.1. Concreto empleado en los elementos masivos.

4.1.1. Propiedades de los agregados.

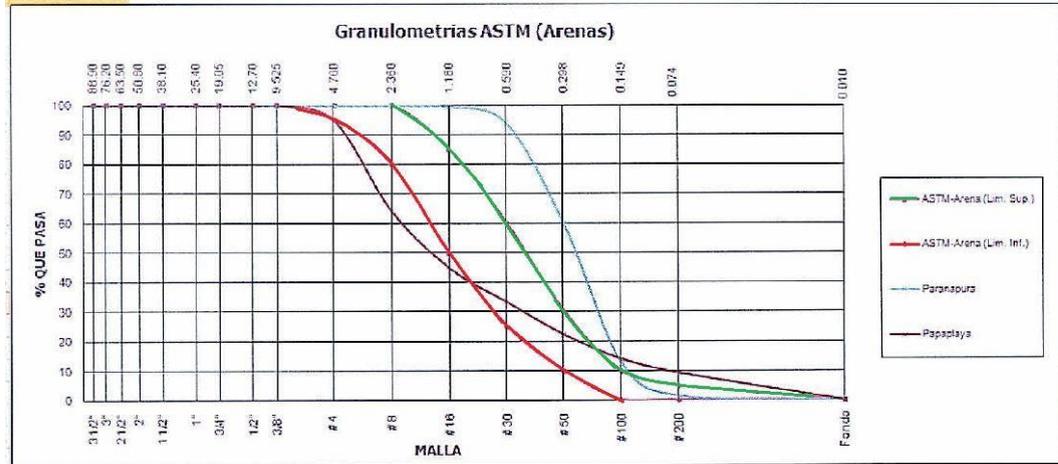
Tabla 11 – Características de los agregados.

Cuadro Comparativo de Ensayos de Arenas		Muestra	Arena Fina		Arena Gruesa Chancada	
		Procedencia	Paranapura (Yurimaguas)		Papaplaya (Yurimaguas)	
Ensayo	Requisito EETT	Normativa	Resultado	Interpretación	Resultado	Interpretación
Durabilidad en sulfato de magnesio	Máx. 15%	NTP 400.016	13.3%	Ok	16.0%	No pasa
Índice de plasticidad	No plástico	NTP 339.129	NP	Ok	NP	Ok
Equivalente de arena	Min. 75%	NTP 339.146	79%	Ok	66%	Ok
Azul de metileno	Máx. 5	AASHTO TP-57	0.32	Ok	0.38	Ok
Terrones de arcilla y partículas friables	Máx. 3%	NTP 400.015	0.00%	Ok	0.23%	Ok
Carbón y lignito	Máx. 0.5%	NTP 400.023	0.021%	Ok	0.003%	Ok
Material pasante de malla n° 200	Máx. 3%	NTP 400.018	1.35%	Ok	9.31%	No pasa
Contenido de materia orgánica	Color 3 o menos	NTP 400.024	2	Ok	1	Ok
Contenido de sulfatos	Máx. 1.2%	NTP 400.042	0.0044%	Ok	0.0088%	Ok
Contenido de cloruros	Máx. 0.1%	NTP 400.042	0.0009%	Ok	0.0007%	Ok
Humedad de absorción	Máx. 4%	NTP 400.022	0.74%	Ok	1.78%	Ok
Reactividad álcali-agregado	Inocuo	ASTM C289	Inocuo	Ok	Inocuo	Ok
Módulo de fineza	2.3 - 3.1	ASTM C33	1.34	No pasa	3.27	No pasa

Leyenda	
Ok	Resultado conforme
No pasa	Resultado no conforme discutible
No pasa	Resultado no conforme definitivo

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos

Figura 15 - Análisis granulométrico de los agregados finos de Paranapura y Papaplaya



Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay - Iquitos

Tabla 12 – Características de la combinación de las arenas de Paranapura y Papaplaya en proporción 50%-50%.

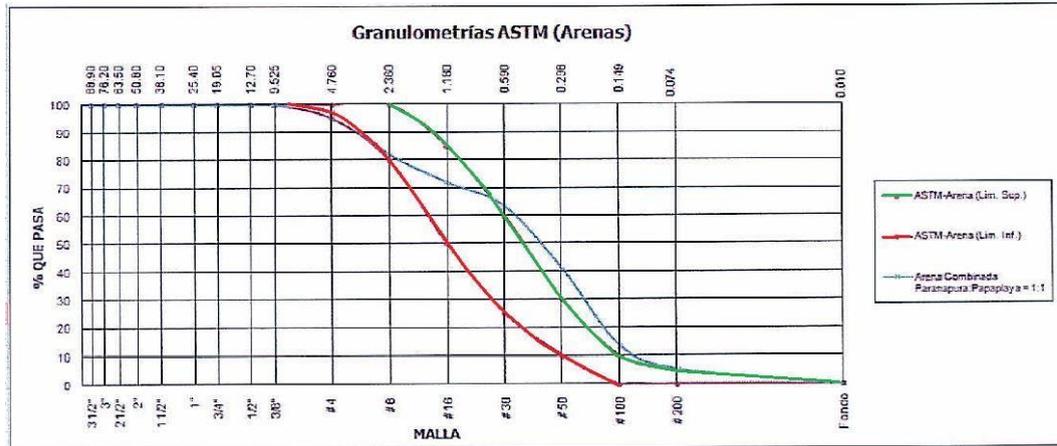
Cuadro Comparativo de Ensayos de Arenas		Muestra		
		Procedencia	Arena Gruesa Combinada (50:50)	
Ensayo	Requisito EETT	Normativa	Resultado	Interpretación
Durabilidad en sulfato de magnesio	Máx. 15%	NTP 400.016	14.6%	Ok
Índice de plasticidad	No plástico	NTP 339.129	NP	Ok
Equivalente de arena	Min. 75%	NTP 339.146	72.5%	No pasa
Azul de metileno	Máx. 5	AASHTO TP-57	0.35	Ok
Terrones de arcilla y partículas friables	Máx. 3%	NTP 400.015	0.11%	Ok
Carbón y lignito	Máx. 0.5%	NTP 400.023	0.012%	Ok
Material pasante de malla n° 200	Máx. 3%	NTP 400.018	5.3%	No pasa
Contenido de materia orgánica	Color 3 o menos	NTP 400.024	2	Ok
Contenido de sulfatos	Máx. 1.2%	NTP 400.042	0.0066%	Ok
Contenido de cloruros	Máx. 0.1%	NTP 400.042	0.0008%	Ok
Humedad de absorción	Máx. 4%	NTP 400.022	1.26%	Ok
Reactividad álcali-agregado	Inocuo	ASTM C289	Inocuo	Ok
Módulo de fineza	2.3 - 3.1	ASTM C33	2.31	Ok

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay - Iquitos

En la elaboración del concreto se usó agregado fino derivado de la combinación de los agregados de Paranapura y Papaplaya en relación 50%-50%. En la Tabla 12 podemos apreciar, que dos condiciones del expediente técnico no se cumplieron. El equivalente de arena no alcanzó el mínimo de 75%, alcanzando 72.5%. El material pasante de malla n° 200 pasó el límite máximo de 3%, alcanzando 5.3%.

El Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos, justifica el uso de este agregado: “Se debe tener en cuenta que a pesar que el pasante de malla N°200 es mayor que el límite especificado, la naturaleza de estos finos no son perjudiciales para el concreto, es decir, los finos no contienen arcillas, debido a que provienen del chancado de piedra y se demuestra a través de los valores del índice de plasticidad (NP) y azul de metileno (0.35 < 5 máx).” (22)

Figura 16 - Análisis granulométrico de la combinación de los agregados finos de Paranapura y Papaplaya en proporción 50%-50%



Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos

El Informe (22) menciona: “En la figura 16 se muestra la combinación de arena propuesta donde se observa que se ajusta al huso granulométrico recomendado por el ASTM C33 para el agregado fino, y asimismo, el módulo de fineza cumple con las EETTs del proyecto según $MF_{comb} = 0.50 \times 1.34 + 0.50 \times 3.27 = 2.31$ ya que está dentro del rango especificado de 2.30 a 3.10. El MF de la arena combinada se obtiene por simple ponderación de los MF de las arenas componentes.

Por otro lado, es recomendable de que el MF de la arena combinada se encuentre pegado al lado fino (2.30) para que aporte cohesividad y resistencia a la segregación al concreto que se produzca (...) “ (22)

Tabla 13 – Características del agregado grueso.

Cuadro Comparativo de Ensayos de Piedra		Muestra	Piedra #67	
		Procedencia	Papaplaya (Yurimaguas)	
Ensayo	Requisito EETT	Normativa	Resultado	Interpretación
Abrasión - Los Ángeles	Máx. 40%	NTP 400.020	20%	Ok
Durabilidad en sulfato de magnesio	Máx. 15%	NTP 400.016	8%	Ok
Terrones de arcilla y partículas friables	Máx. 3%	NTP 400.015	0.03%	Ok
Carbón y lignito	Máx. 0.5%	NTP 400.023	0.00%	Ok
Caras fracturadas	Mín. 60%	ASTM D5821	98%	Ok
Partículas chatas y alargadas (5:1)	Máx. 10%	NTP 400.040	13.30%	No pasa
Contenido de sulfatos	Máx. 1.2%	NTP 400.042	0.0092%	Ok
Contenido de cloruros	Máx. 0.1%	NTP 400.042	0.0007%	Ok
Reactividad álcali-agregado	Inocuo	ASTM C289	Inocuo	Ok

Leyenda	
Ok	Resultado conforme
No pasa	Resultado no conforme discutible
No pasa	Resultado no conforme definitivo

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay - Iquitos

4.1.2. Diseño de mezcla.

Empresa UNICON fue la encargada de proporcionar el concreto en la obra. En la Tabla 14 se presentan dosificaciones de los diseños de mezcla. Para los elementos masivos investigados, se usó en específico la resistencia del diseño $f'c=280$ kg/cm². Su relación agua-cemento se determinó como máximo de 0.50, finalmente resultando ser 0.47. Su asentamiento (slump) debía ser mínimo de 8”.

Tabla 14 – Dosificaciones de los diseños de mezcla de obra.

MATERIALES	PROCEDENCIA	DOSIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES EN ESTADO SECO				UNIDAD
		(1) Concreto de $f'c = 100$ kg/cm ² , cemento tipo I, TM = $\frac{3}{4}$ " (huso 6 ó 67), y slump 4"	(2) Concreto de $f'c = 210$ kg/cm ² , cemento tipo I, TM = $\frac{3}{4}$ " (huso 6 ó 67), y slump 8"	(3) Concreto de $f'c = 350$ kg/cm ² , cemento tipo I, TM = $\frac{3}{4}$ " (huso 6 ó 67), y slump 6"	(4) Concreto bajo agua (tremie) de $f'c = 280$ kg/cm ² , cemento tipo I, piedra de TM = $\frac{3}{4}$ " (huso 67), relación agua/cemento máxima de 0.50 y slump ≥ 8 "	
Cemento tipo I	UNACEM	220	280	395	395	Kg/m ³
Agua	MIUNISH	180	180	185	185	L/m ³
Arena Fina	PARANAPURA	457	479	416	487	Kg/m ³
Arena Chancada	PAPAPLAYA	446	468	406	475	Kg/m ³
Piedra Huso 67	PAPAPLAYA	979	911	928	788	Kg/m ³
Master Set R800*	BASF	1.21	1.34	1.58	1.66	L/m ³
Master Rheobuild 1202*	BASF	0.99	3.64	3.28	-	L/m ³
Master Ease 3900*	BASF	-	-	-	6.52	L/m ³
Master Matrix UW 450*	BASF	-	-	-	1.03	L/m ³
Master Air Ae 400*	BASF	0.033	0.042	0.051	-	L/m ³

Nota:

(*) Las dosis de los aditivos pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas y/o de las características granulométricas de los agregados.

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos.

Para el vaciado de los Cabezales de Pilotes de las Torres se usó el concreto de $f'c=280$ kg/cm² diseñado para ser dosificado bajo agua (tremie).

Tabla 15 – Dosificación del concreto bajo agua (tremie) $f'c=280$ kg/cm².

Materiales	Procedencia	Dosificación en estado seco	Unidad
Cemento Tipo I	UNACEM	395	kg/m ³
Agua	MIUNISH	185	L/m ³
Arena fina	PARANAPURA	487	kg/m ³

Arena chancada	PAPAPLAYA	475	kg/m ³
Piedra Huso 67	PAPAPLAYA	788	kg/m ³
Master Set R800	BASF	1.66	L/m ³
Master Ease 3900	BASF	6.52	L/m ³
Master Matrix UW 450	BASF	1.03	L/m ³

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos.

El Informe de Diseños indica que diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, cemento tipo I, piedra $TM=3/4"$ (huso 67) no contienen cantidades constantes de los aditivos sino que deben esperar cambios en las dosis de los mismos a medida que varían las condiciones climáticas del proyecto como es el caso del cambio por estaciones y/o a medida que los módulos de fineza de los agregados difieren en más de 0.025 respecto de los originales (22).

Para el vaciado del Cabezal de Pilar 27 (de anclaje) se usó el concreto de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$. Su dosificación es:

Tabla 16 – Dosificación del concreto $f'c=350$ kg/cm².

Materiales	Procedencia	Dosificación en estado seco	Unidad
Cemento Tipo I	UNACEM	395	kg/m ³
Agua	MIUNISH	185	L/m ³
Arena fina	PARANAPURA	416	kg/m ³
Arena chancada	PAPAPLAYA	406	kg/m ³
Piedra Huso 67	PAPAPLAYA	928	kg/m ³
Master Set R800	BASF	1.58	L/m ³
Master Rheobuild 1202	BASF	3.28	L/m ³
Master Air Ae 400	BASF	0.051	L/m ³

Fuente: (22) Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay – Iquitos.

4.1.4.2. Clasificación de los límites de temperatura máxima

4.2.1. Criterios de ACI 201.2R (EE.UU.)

El punto 4.1.2. en los informes de diseños de mezcla, se aprecia que se usó el cemento Tipo I para todos los concretos. ACI 207.1R-05 (5) **no recomienda el uso de Cemento Tipo I o GU sin medidas que ayuden a controlar los problemas de temperatura** debido a su calor de hidratación sustancialmente más alto (5). Las Especificaciones Técnicas no mencionan medidas para prevenir aumento de temperaturas en elementos masivos de concreto. Se siguió criterio técnico de los ingenieros en obra. Las medidas que hemos presenciado fueron:

- ✓ Uso de hielo en el amasado del concreto para bajar la temperatura inicial del concreto
- ✓ Uso del sistema de enfriamiento por medio de red de tuberías dentro de los Cabezales de Pilotes de Torres, por donde se bombeaba agua helada. Este sistema no se usó en los Cabezales de los Pilares.

Según ACI 201.2R (12) si la temperatura no alcanza 70°C entonces no se requiere ninguna medida de prevención. Entre las temperaturas 70°C a 85°C (Tabla 4) se requeriría al menos **UNA** de las siguientes medidas:

1. Cemento Portland que cumple con los requerimientos de la ASTM C150/C150M de moderado o alta resistencia a los sulfatos y cemento de bajo álcali con valores de fineza menores o iguales a 430 m²/kg. **(NO SE USÓ)**
2. Cemento Portland con resistencia de mortero a 1 día (ASTM C109/C109M) menor o igual a 2850 psi (20 MPa). **(Según ASTM C109 se usa relación A/C = 0.485, para Cemento UNACEM SOL Tipo I. Es más probable que alcance resistencia mayor que 20 MPa, no se encontró evidencia de realizar el ensayo según la norma ASTM C109).**

3. Cualquier cemento portland ASTM C150/C150M en combinación con las siguientes proporciones de puzolana, cemento con escorias **(NO SE USÓ PUZOLANA NI CEMENTO CON ESCORIAS)**:

a. Mayor o igual a 25% de ceniza volante que cumpla con los requerimientos de ASTM C618 para ceniza volante clase F.

b. Mayor o igual a 35% de ceniza volante que cumpla con los requerimientos de ASTM C618 para ceniza volante clase C.

c. Mayor o igual a 35% de cemento de escoria que cumpla con los requerimientos ASTM C989/989M.

d. Mayor o igual a 5% de humo de sílice (Cumpliendo con ASTM C1240) en combinación con al menos 25% de cemento de escoria.

e. Mayor o igual a 5% de humo de sílice (cumpliendo con ASTM C1240) en combinación con al menos 20% de ceniza volante clase F.

f. Mayor o igual a 10% metacaolin que cumpla con ASTM C618.

4. Un cemento adicionado según ASTM C595/C595M o ASTM C1157M mezclado con cemento hidráulico con el mismo contenido de puzolana o cemento de escoria listado en el punto 3 **(NO SE USÓ)**.

Según los criterios mencionados según ACI 201.2R (12) la temperatura máxima del concreto es de 70°C.

4.2.2. Criterios de LCPC (Francia)

Según la **Tabla 5** la obra es de **Categoría III** con más exigencia, donde entran siguientes tipos de construcciones:

- Edificios reactores de centrales nucleares.
- Presas, túneles.

•Puentesyviaductosdegranimportancia.

• Edificios patrimoniales.

• Traviesas de ferrocarril.

En la **Tabla 6** tenemos pautas para categorizar clases de exposición de los elementos masivos.

El **Cabezal del Pilar 27** tiene clase de exposición **XH1**, porque responde a una de las siguientes características:

• Parte de una estructura de concreto situada al interior de edificios donde el porcentaje de humedad relativa es baja o media.

•Partedeuna estructura de concreto situada al exterior y expuesta a la lluvia.

Los **Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2** tienen clase de exposición **XH3**, porque responde a una de las siguientes características:

•Partedeunaestructuradeconcretosumergidopermanentemente en agua (pilotes, fundaciones).

• Elementos de estructuras marinas.

• Algunas fundaciones.

• Parte de una estructura de concreto regularmente expuesta a salpicaduras de agua.

Según la **Tabla 17**:

El **Cabezal de Pilar 27** requiere el nivel de prevención **As**.

Los **Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2** requieren el nivel de prevención **Ds**.

Tabla 17 - Elección del nivel de prevención

Categoría de la obra	Clase de exposición		
	XH1	XH2	XH3
I	As	As	As
II	As	Bs	Cs
III	As	Cs	Ds

Fuente: (18) LCPC

Para **Viga Cabezal de Pilar 27** con nivel de prevención **As**, la cual señala que, la temperatura máxima del concreto (T_{max}) es **85°C** y temperatura límite del concreto (T_{limite}) es **90°C**, donde:

T_{MAX} : temperatura máxima del concreto esperada en el núcleo de la sección de concreto

T_{LIMITE} : temperatura límite del concreto que no puede ser superada.

Condiciones a respetar si la temperatura está comprendida entre T_{MAX} y T_{LIMITE} , son:

- En el caso de un tratamiento térmico acelerado (podría ser realizado en una fábrica de concreto pre fabricado): se permite una temperatura (T_{MAX}) superior a 85°C hasta 90°C, a condición de que la duración de una temperatura superior a 85°C se limite a 4 horas.

En la obra tenemos condición del concreto vaciado in situ, entonces la temperatura no debe superar T_{max} . Se debe asumir que la temperatura superior límite para Cabezal de Pilar 27 es 85°C.

Para Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2 con nivel de prevención **Ds**, la cual señala que, la temperatura máxima del concreto (T_{max}) es 65°C y temperatura límite del concreto (T_{limite}) es 75°C.

Condiciones a respetar si la temperatura está comprendida entre T_{MAX} y T_{LIMITE} , son:

- Cemento adaptado y
- Validación del diseño de mezcla por un laboratorio independiente experto en RSI.

No se dispone con ninguna constancia del cumplimiento de esas dos condiciones. Se debe asumir que el límite superior de temperatura para Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2, según LCPC es 65°C.

4.2.4.3. Resultados de las mediciones de temperaturas

4.3.1. Viga Cabezal de Pilar 27

Tabla 18 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
28/11/2019	12:00	58.90	25.40	33.50
28/11/2019	13:00	64.70	31.40	33.30
28/11/2019	14:00	66.20	34.85	31.35
28/11/2019	15:00	66.80	37.10	29.70
28/11/2019	16:00	70.10	49.80	20.30
28/11/2019	17:00	72.80	52.10	20.70

28/11/2019	18:00	74.00	54.90	19.10
28/11/2019	19:00	73.10	52.90	20.20
28/11/2019	20:00	74.60	54.70	19.90
28/11/2019	21:00	75.60	54.20	21.40
28/11/2019	22:00	75.70	52.80	22.90
28/11/2019	23:00	76.90	52.50	24.40
28/11/2019	29/11/2019 00:00	76.40	50.80	25.60
28/11/2019	01:00	76.70	49.70	27.00
29/11/2019	02:00	78.20	49.40	28.80
29/11/2019	03:00	78.10	48.50	29.60
29/11/2019	04:00	78.00	47.30	30.70
29/11/2019	05:00	78.50	47.30	31.20
29/11/2019	06:00	79.30	47.20	32.10
29/11/2019	07:00	79.40	47.10	32.30
29/11/2019	08:00	79.40	46.50	32.90
29/11/2019	09:00	79.80	45.70	34.10
29/11/2019	10:00	81.20	44.80	36.40
29/11/2019	11:00	81.10	49.10	32.00
29/11/2019	12:00	80.00	50.70	29.30
29/11/2019	13:00	79.60	49.50	30.10
29/11/2019	14:00	72.30	43.00	29.30
29/11/2019	15:00	77.30	45.80	31.50
29/11/2019	16:00	77.00	44.30	32.70
29/11/2019	17:00	79.40	47.50	31.90
29/11/2019	18:00	77.80	44.70	33.10
29/11/2019	19:00	76.10	43.30	32.80
29/11/2019	20:00	80.00	46.10	33.90
29/11/2019	21:00	78.20	44.00	34.20
29/11/2019	22:00	78.20	44.10	34.10
29/11/2019	23:00	77.50	42.90	34.60
29/11/2019	30/11/2019 00:00	77.60	42.70	34.90
29/11/2019	01:00	77.80	42.70	35.10
30/11/2019	02:00	77.60	42.10	35.50
30/11/2019	03:00	77.40	41.60	35.80
30/11/2019	04:00	77.20	41.30	35.90
30/11/2019	05:00	77.10	41.00	36.10
30/11/2019	06:00	76.90	40.80	36.10
30/11/2019	07:00	78.70	42.10	36.60
30/11/2019	08:00	79.60	42.60	37.00

30/11/2019	09:00	79.00	42.30	36.70
30/11/2019	10:00	78.40	42.00	36.40
30/11/2019	11:00	78.60	42.90	35.70
30/11/2019	12:00	78.00	42.00	36.00
30/11/2019	13:00	74.70	41.60	33.10
30/11/2019	14:00	75.20	42.30	32.90
30/11/2019	15:00	71.40	38.60	32.80
30/11/2019	16:00	73.90	43.00	30.90
30/11/2019	17:00	77.90	45.40	32.50
30/11/2019	18:00	76.40	45.00	31.40
30/11/2019	19:00	75.90	44.50	31.40
30/11/2019	20:00	75.60	41.40	34.20
30/11/2019	21:00	75.00	41.20	33.80
30/11/2019	22:00	74.30	39.30	35.00
30/11/2019	23:00	74.10	38.80	35.30
30/11/2019	1/12/2020 00:00	75.10	39.60	35.50
30/11/2019	01:00	74.20	40.20	34.00
1/12/2019	02:00	73.40	36.40	37.00
1/12/2019	03:00	73.60	36.50	37.10
1/12/2019	04:00	73.10	36.90	36.20
1/12/2019	05:00	73.30	38.30	35.00
1/12/2019	06:00	73.40	38.00	35.40
1/12/2019	07:00	73.60	38.20	35.40
1/12/2019	08:00	73.90	38.70	35.20
1/12/2019	09:00	74.10	38.90	35.20
1/12/2019	10:00	75.60	39.50	36.10
1/12/2019	11:00	74.90	38.10	36.80
1/12/2019	12:00	77.30	42.40	34.90
1/12/2019	13:00	77.40	41.90	35.50
1/12/2019	14:00	76.90	42.60	34.30
1/12/2019	15:00	76.80	42.00	34.80
2/12/2019	3/12/2019 00:00			
3/12/2019	3/12/2019 19:00	67.10	36.50	30.60
3/12/2019	3/12/2019 20:00	63.20	36.30	26.90
3/12/2019	21:00	62.80	36.30	26.50
3/12/2019	22:00	63.10	35.50	27.60
3/12/2019	23:00	62.90	36.10	26.80
3/12/2019	00:00	61.90	36.00	25.90
3/12/2019	01:00	63.00	35.50	27.50

3/12/2019	02:00	62.90	36.20	26.70
3/12/2019	03:00	62.70	35.50	27.20
3/12/2019	04:00	62.90	35.90	27.00
3/12/2019	05:00	62.30	35.40	26.90
3/12/2019	06:00	61.40	34.90	26.50
3/12/2019	07:00	61.20	34.60	26.60
MÁXIMO		81.20	54.90	37.10

Figura 17 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 1, Termocuplas 1 y 2.

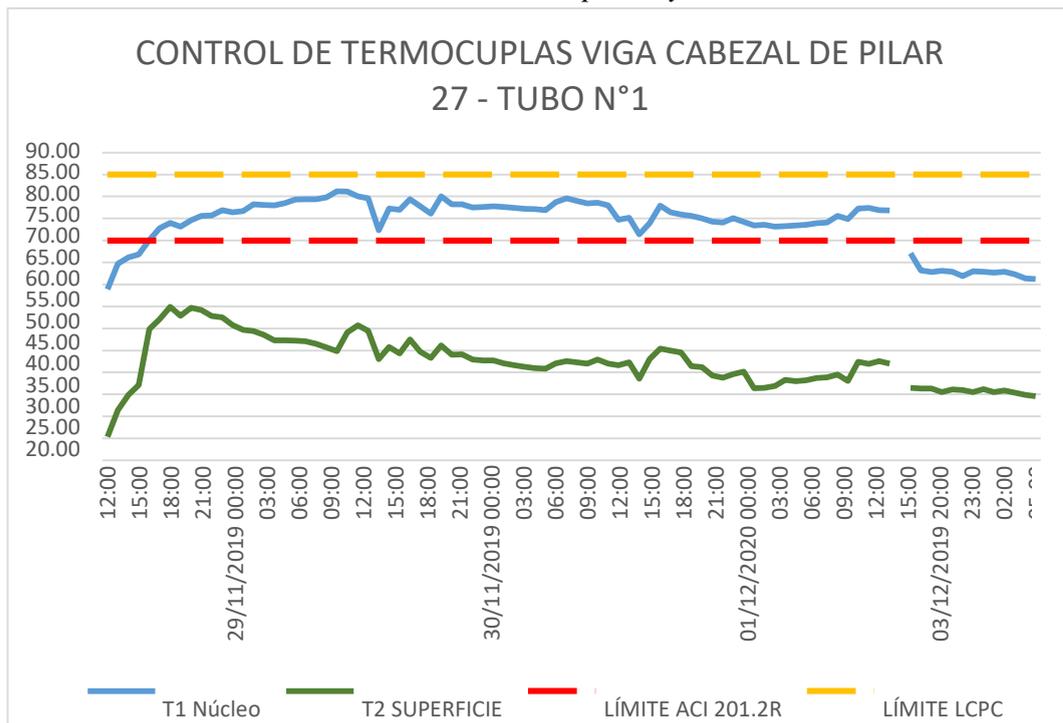


Figura 18 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 1, Termocuplas 1 y 2

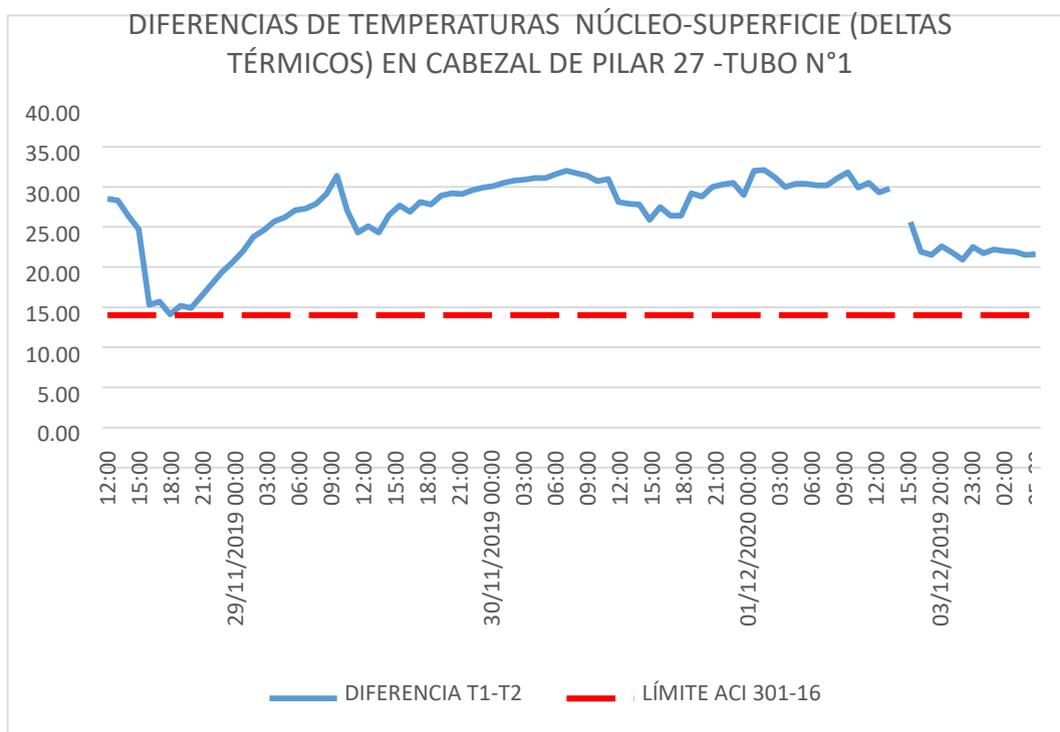


Tabla 19 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
28/11/2019	28/11/2019 10:00			
28/11/2019	11:00			
28/11/2019	12:00	61.70	33.80	27.90
28/11/2019	13:00	66.40	34.80	31.60
28/11/2019	14:00	70.20	37.80	32.40
28/11/2019	15:00	70.80	36.10	34.70
28/11/2019	16:00	72.70	40.20	32.50
28/11/2019	17:00	74.10	49.70	24.40
28/11/2019	18:00	75.00	52.20	22.80
28/11/2019	19:00	74.90	48.00	26.90
28/11/2019	20:00	75.90	49.00	26.90

28/11/2019	21:00	76.00	54.20	21.80
28/11/2019	22:00	76.10	53.60	22.50
28/11/2019	23:00	77.20	53.90	23.30
29/11/2019	29/11/2019 00:00	77.90	52.20	25.70
29/11/2019	01:00	77.90	51.10	26.80
29/11/2019	02:00	77.90	49.70	28.20
29/11/2019	03:00	77.90	49.00	28.90
29/11/2019	04:00	77.90	48.60	29.30
29/11/2019	05:00	78.20	48.10	30.10
29/11/2019	06:00	78.40	47.90	30.50
29/11/2019	07:00	78.30	47.80	30.50
29/11/2019	08:00	78.70	46.90	31.80
29/11/2019	09:00	79.10	45.20	33.90
29/11/2019	10:00	79.80	44.60	35.20
29/11/2019	11:00	80.30	48.90	31.40
29/11/2019	12:00	80.90	53.70	27.20
29/11/2019	13:00	79.20	49.20	30.00
29/11/2019	14:00	74.70	46.20	28.50
29/11/2019	15:00	78.40	48.80	29.60
29/11/2019	16:00	77.30	47.50	29.80
29/11/2019	17:00	80.20	48.10	32.10
29/11/2019	18:00	78.20	45.30	32.90
29/11/2019	19:00	76.60	43.40	33.20
29/11/2019	20:00	79.20	46.00	33.20
29/11/2019	21:00	77.70	44.30	33.40
29/11/2019	22:00	77.80	44.30	33.50
29/11/2019	23:00	76.70	43.30	33.40
30/11/2019	30/11/2019 00:00	77.20	43.40	33.80
30/11/2019	01:00	77.00	42.80	34.20
30/11/2019	02:00	76.80	42.70	34.10
30/11/2019	03:00	76.50	42.50	34.00
30/11/2019	04:00	76.40	42.20	34.20
30/11/2019	05:00	76.40	42.00	34.40
30/11/2019	06:00	76.20	41.50	34.70
30/11/2019	07:00	77.80	42.60	35.20
30/11/2019	08:00	77.70	43.20	34.50
30/11/2019	09:00	76.80	42.20	34.60
30/11/2019	10:00	75.90	42.60	33.30
30/11/2019	11:00	75.40	41.50	33.90

30/11/2019	12:00	78.60	45.70	32.90
30/11/2019	13:00	76.50	45.20	31.30
30/11/2019	14:00	77.60	45.60	32.00
30/11/2019	15:00	75.90	43.50	32.40
30/11/2019	16:00	73.10	43.00	30.10
30/11/2019	17:00	77.40	44.80	32.60
30/11/2019	18:00	76.50	44.50	32.00
30/11/2019	19:00	75.90	42.20	33.70
30/11/2019	20:00	74.10	39.50	34.60
30/11/2019	21:00	75.10	37.50	37.60
30/11/2019	22:00	73.80	38.30	35.50
30/11/2019	23:00	72.80	36.90	35.90
1/12/2019	1/12/2019 00:00	74.20	39.60	34.60
1/12/2019	01:00	73.60	40.20	33.40
1/12/2019	02:00	73.20	37.40	35.80
1/12/2019	03:00	72.60	38.40	34.20
1/12/2019	04:00	72.90	36.50	36.40
1/12/2019	05:00	72.90	37.70	35.20
1/12/2019	06:00	72.80	37.90	34.90
1/12/2019	07:00	73.10	38.80	34.30
1/12/2019	08:00	73.70	39.10	34.60
1/12/2019	09:00	74.40	40.10	34.30
1/12/2019	10:00	74.10	38.50	35.60
1/12/2019	11:00	75.10	36.70	38.40
1/12/2019	12:00	77.30	44.00	33.30
1/12/2019	13:00	77.20	44.40	32.80
1/12/2019	14:00	77.00	44.30	32.70
1/12/2019	15:00	77.10	44.00	33.10
3/12/2019	3/12/2019 00:00			
3/12/2019	3/12/2019 19:00	63.90	37.20	26.70
3/12/2019	20:00	64.70	37.40	27.30
3/12/2019	21:00	64.30	36.80	27.50
3/12/2019	22:00	64.10	35.90	28.20
3/12/2019	23:00	63.90	35.60	28.30
3/12/2019	00:00	63.70	35.20	28.50
3/12/2019	01:00	63.90	35.70	28.20
3/12/2019	02:00	64.00	35.50	28.50
3/12/2019	03:00	63.90	35.70	28.20
3/12/2019	04:00	63.70	35.30	28.40

3/12/2019	05:00	63.10	34.20	28.90
3/12/2019	06:00	62.00	33.80	28.20
3/12/2019	07:00	62.20	33.60	28.60
	MÁXIMO	80.90	54.20	38.40

Figura 19 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 2, Termocuplas 1 y 2

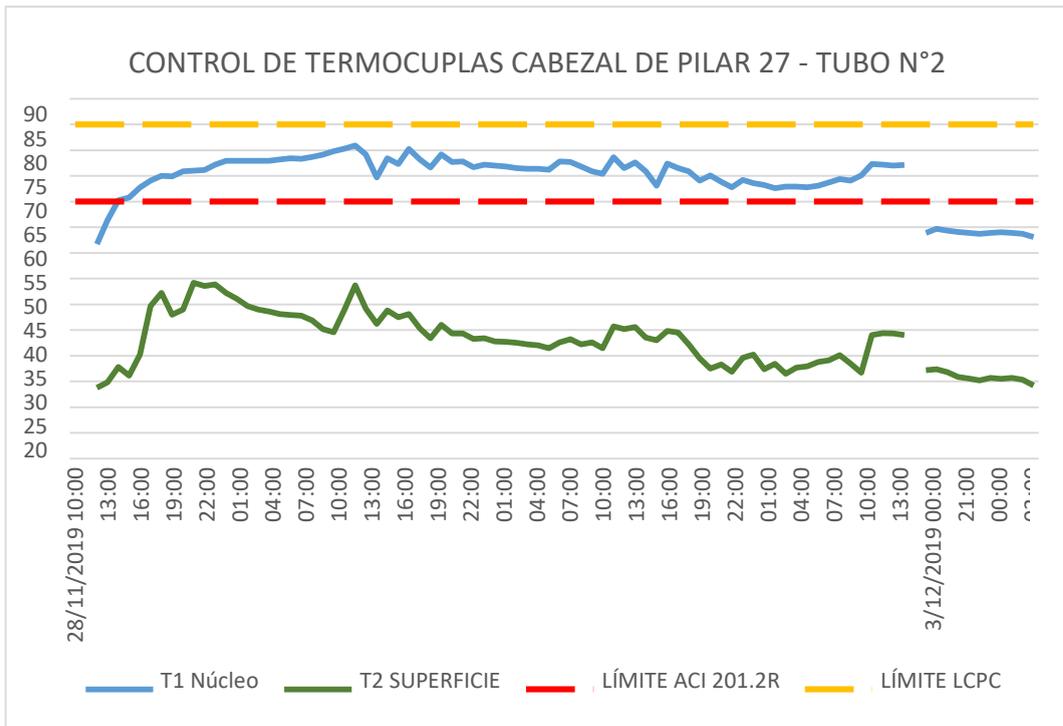


Figura 20 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27, Tubo 2, Termocuplas 1 y 2

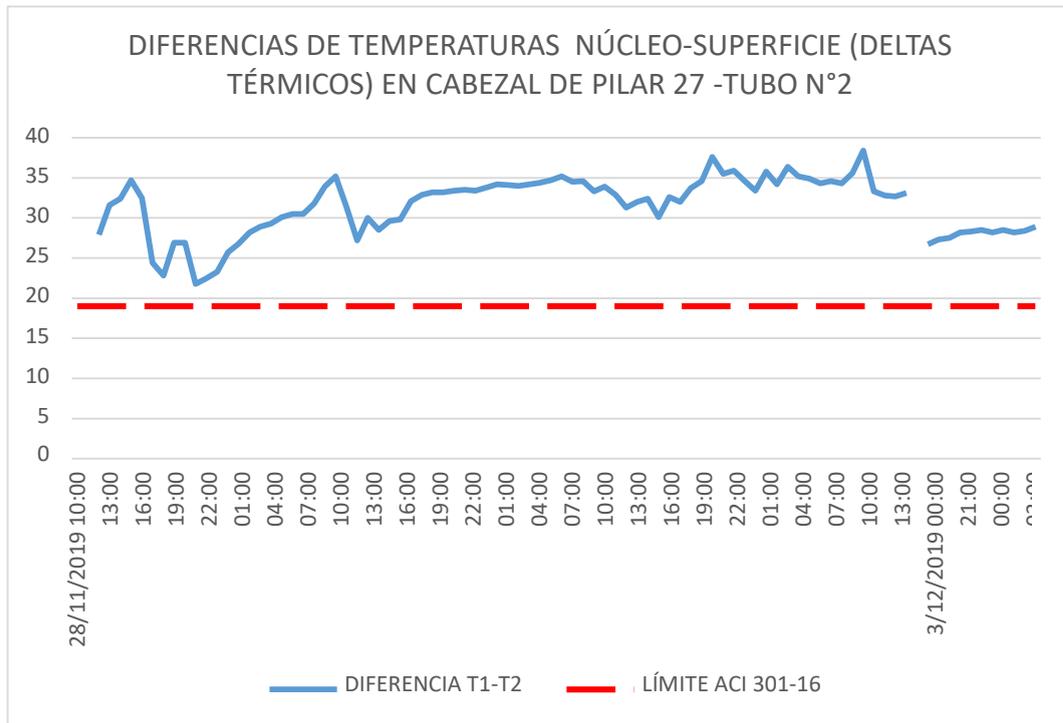


Tabla 20 – Registro de temperaturas en Viga Cabezal de Pilar 27 (°C) –
Termocuplas 1 y 2, Tubo 3

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
28/11/2019	28/11/2019 10:00	30.40	27.40	
28/11/2019	11:00	37.80	29.60	
28/11/2019	12:00	39.60	31.30	8.30
28/11/2019	13:00	59.70	32.00	27.70
28/11/2019	14:00	64.70	34.80	29.90
28/11/2019	15:00	67.50	35.60	31.90
28/11/2019	16:00	69.80	39.70	30.10
28/11/2019	17:00	71.40	47.50	23.90
28/11/2019	18:00	72.00	49.60	22.40
28/11/2019	19:00	71.00	51.10	19.90
28/11/2019	20:00	72.20	52.20	20.00
28/11/2019	21:00	74.30	52.40	21.90
28/11/2019	22:00	74.30	52.20	22.10
28/11/2019	23:00	74.80	52.50	22.30
29/11/2019	29/11/2019 00:00	76.00	51.40	24.60
29/11/2019	01:00	76.30	49.20	27.10
29/11/2019	02:00	77.40	49.20	28.20
29/11/2019	03:00	77.40	48.60	28.80
29/11/2019	04:00	77.40	48.10	29.30
29/11/2019	05:00	77.90	48.00	29.90
29/11/2019	06:00	78.30	47.80	30.50
29/11/2019	07:00	78.50	47.60	30.90
29/11/2019	08:00	78.30	46.40	31.90
29/11/2019	09:00	77.20	45.30	31.90
29/11/2019	10:00	75.90	44.90	31.00
29/11/2019	11:00	77.40	48.30	29.10
29/11/2019	12:00	79.20	51.60	27.60
29/11/2019	13:00	78.60	46.20	32.40
29/11/2019	14:00	76.20	47.50	28.70
29/11/2019	15:00	78.00	49.20	28.80
29/11/2019	16:00	78.70	44.40	34.30
29/11/2019	17:00	78.40	48.20	30.20

29/11/2019	18:00	77.00	45.10	31.90
29/11/2019	19:00	76.50	43.70	32.80
29/11/2019	20:00	78.60	45.40	33.20
29/11/2019	21:00	77.20	43.90	33.30
29/11/2019	22:00	77.10	44.20	32.90
29/11/2019	23:00	75.70	42.80	32.90
30/11/2019	30/11/2019 00:00	77.10	43.20	33.90
30/11/2019	01:00	76.10	42.50	33.60
30/11/2019	02:00	76.00	42.40	33.60
30/11/2019	03:00	75.90	42.30	33.60
30/11/2019	04:00	76.10	42.30	33.80
30/11/2019	05:00	76.00	42.40	33.60
30/11/2019	06:00	75.90	42.10	33.80
30/11/2019	07:00	76.60	42.50	34.10
30/11/2019	08:00	74.10	40.20	33.90
30/11/2019	09:00	74.50	40.30	34.20
30/11/2019	10:00	75.00	41.00	34.00
30/11/2019	11:00	75.90	41.30	34.60
30/11/2019	12:00	75.00	41.80	33.20
30/11/2019	13:00	75.70	43.40	32.30
30/11/2019	14:00	76.90	43.80	33.10
30/11/2019	15:00	74.90	42.70	32.20
30/11/2019	16:00	76.00	43.50	32.50
30/11/2019	17:00	76.50	43.80	32.70
30/11/2019	18:00	75.40	38.90	36.50
30/11/2019	19:00	76.50	40.50	36.00
30/11/2019	20:00	74.20	40.10	34.10
30/11/2019	21:00	73.20	39.50	33.70
30/11/2019	22:00	72.60	38.50	34.10
30/11/2019	23:00	72.10	42.20	29.90
1/12/2019	1/12/2019 00:00	72.90	41.10	31.80
1/12/2019	01:00	73.30	43.20	30.10
1/12/2019	02:00	71.90	37.90	34.00
1/12/2019	03:00	71.50	38.50	33.00
1/12/2019	04:00	72.20	39.20	33.00
1/12/2019	05:00	72.10	37.50	34.60
1/12/2019	06:00	72.30	37.90	34.40
1/12/2019	07:00	72.70	38.20	34.50
1/12/2019	08:00	72.90	38.90	34.00

1/12/2019	09:00	73.00	39.00	34.00
1/12/2019	10:00	72.10	39.50	32.60
1/12/2019	11:00	72.20	39.21	32.99
1/12/2019	12:00	74.50	42.20	32.30
1/12/2019	13:00	74.40	42.30	32.10
1/12/2019	14:00	74.50	42.10	32.40
1/12/2019	15:00	74.30	43.00	31.30
	MÁXIMO	79.20	52.50	36.50

Figura 21 – Control de temperaturas en termocuplas Viga Cabezal de Pilar 27
Tubo 3, Termocuplas 1 y 2

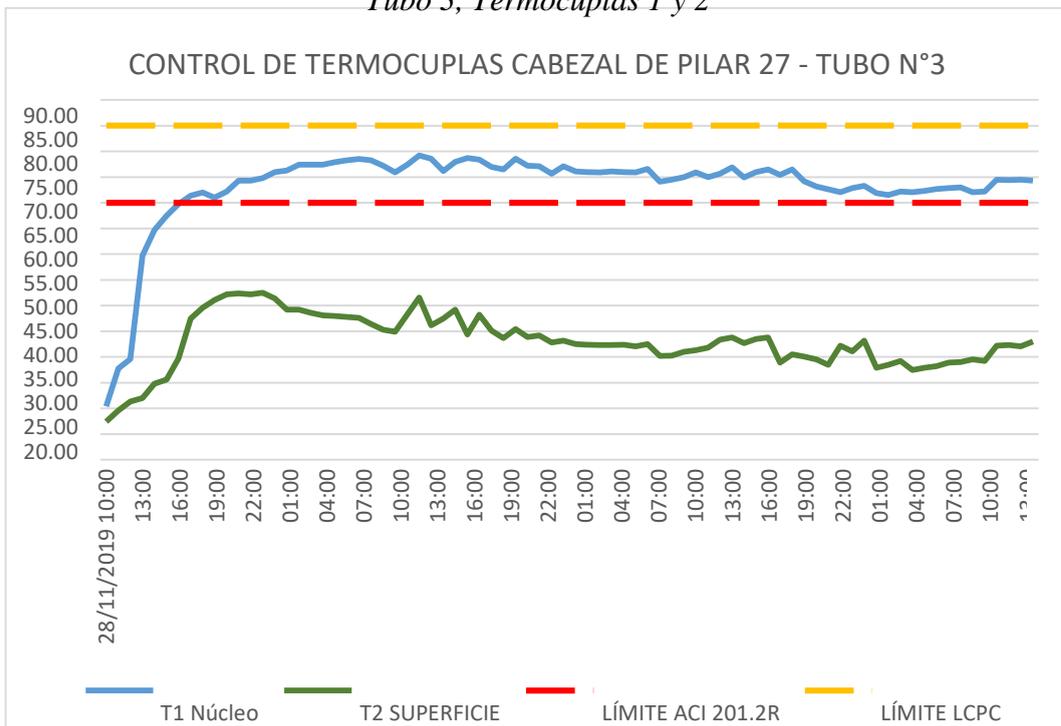
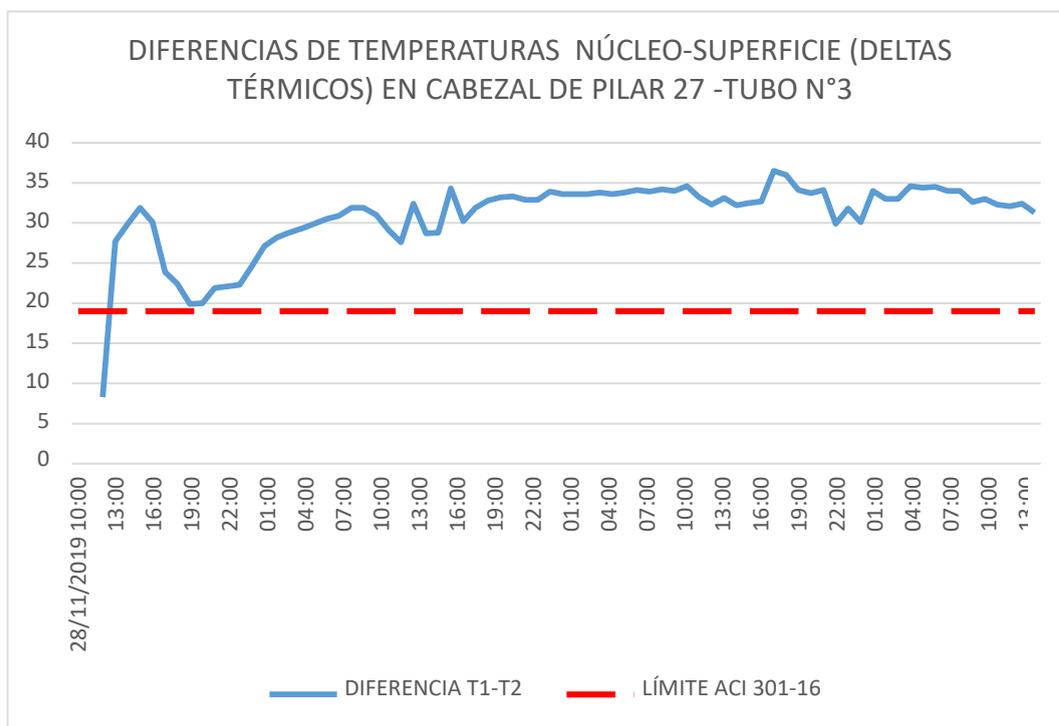


Figura 22 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie Viga Cabezal de Pilar 27 Tubo 3, Termocuplas 1 y 2



4.3.2. Cabezal de Pilotes de Torre 1

Tabla 21 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
12/11/2019	12/11/2019 08:00	42.30	29.90	12.40
12/11/2019	09:00	47.70	30.60	17.10
12/11/2019	10:00	54.40	31.50	22.90
12/11/2019	11:00	57.60	32.10	25.50
12/11/2019	12:00	60.30	32.40	27.90
12/11/2019	13:00	64.80	32.80	32.00
12/11/2019	14:00	65.30	37.60	27.70
12/11/2019	15:00	66.90	40.10	26.80
12/11/2019	16:00	68.70	53.60	15.10

12/11/2019	17:00	68.20	59.10	9.10
12/11/2019	18:00	67.80	62.40	5.40
12/11/2019	19:00	69.00	65.30	3.70
12/11/2019	20:00	69.40	67.60	1.80
12/11/2019	21:00	71.00	69.30	1.70
12/11/2019	22:00	71.30	69.40	1.90
12/11/2019	23:00	71.60	69.50	2.10
13/11/2019	13/11/2019 00:00	71.10	69.00	2.10
13/11/2019	01:00	71.60	69.00	2.60
13/11/2019	02:00	71.90	69.10	2.80
13/11/2019	03:00	71.80	68.90	2.90
13/11/2019	04:00	71.70	68.50	3.20
13/11/2019	05:00	73.80	69.80	4.00
13/11/2019	06:00	73.90	69.90	4.00
13/11/2019	07:00	74.20	60.70	13.50
13/11/2019	08:00	74.40	60.70	13.70
13/11/2019	09:00	74.50	60.80	13.70
13/11/2019	10:00	75.50	61.20	14.30
13/11/2019	11:00	74.20	60.00	14.20
13/11/2019	12:00	71.10	56.50	14.60
13/11/2019	13:00	70.20	55.10	15.10
13/11/2019	14:00	68.40	53.90	14.50
13/11/2019	15:00	66.20	52.30	13.90
13/11/2019	16:00	65.90	51.70	14.20
13/11/2019	17:00	65.30	51.60	13.70
13/11/2019	18:00	64.90	51.20	13.70
13/11/2019	19:00	67.60	55.30	12.30
13/11/2019	20:00	69.80	58.20	11.60
13/11/2019	21:00	68.40	56.60	11.80
13/11/2019	22:00	67.80	55.70	12.10
13/11/2019	23:00	67.90	55.30	12.60
14/11/2019	14/11/2019 00:00	67.80	54.90	12.90
14/11/2019	01:00	68.00	54.50	13.50
14/11/2019	02:00	68.00	54.10	13.90
14/11/2019	03:00	67.90	53.90	14.00
14/11/2019	04:00	67.60	53.60	14.00
14/11/2019	05:00	67.40	53.30	14.10
14/11/2019	06:00	67.20	53.00	14.20

14/11/2019	07:00	69.30	54.40	14.90
14/11/2019	08:00	69.00	54.40	14.60
14/11/2019	09:00	70.20	53.10	17.10
14/11/2019	10:00	71.00	51.80	19.20
14/11/2019	11:00	70.50	49.80	20.70
14/11/2019	12:00	69.20	49.90	19.30
14/11/2019	13:00	67.80	50.10	17.70
14/11/2019	14:00	66.50	50.20	16.30
14/11/2019	15:00	65.40	50.00	15.40
14/11/2019	16:00	66.80	51.00	15.80
14/11/2019	17:00	66.10	50.60	15.50
14/11/2019	18:00	65.30	49.80	15.50
14/11/2019	19:00	64.90	44.80	20.10
14/11/2019	20:00	64.40	44.20	20.20
14/11/2019	21:00	64.10	43.90	20.20
14/11/2019	22:00	62.90	42.80	20.10
14/11/2019	23:00	62.60	42.60	20.00
15/11/2019	15/11/2019 00:00	62.40	42.40	20.00
15/11/2019	01:00	61.90	42.10	19.80
15/11/2019	02:00	61.70	41.80	19.90
15/11/2019	03:00	61.30	41.30	20.00
15/11/2019	04:00	60.80	41.20	19.60
15/11/2019	05:00	61.10	41.30	19.80
15/11/2019	06:00	61.20	41.70	19.50
15/11/2019	07:00	62.50	41.40	21.10
15/11/2019	08:00	61.50	42.10	19.40
15/11/2019	09:00	61.20	42.10	19.10
15/11/2019	10:00	61.40	45.50	15.90
16/11/2019	16/11/2019 00:00			
16/11/2019	16/11/2019 21:00	46.20	46.10	0.10
16/11/2019	16/11/2019 22:00	46.20	46.10	0.10
16/11/2019	23:00	46.40	47.20	-0.80
17/11/2019	17/11/2019 00:00	46.90	51.40	-4.50
17/11/2019	01:00	47.30	53.90	-6.60
17/11/2019	02:00	47.40	54.20	-6.80
17/11/2019	03:00	47.60	55.70	-8.10

17/11/2019	04:00	47.50	56.10	-8.60
17/11/2019	05:00	47.80	56.20	-8.40
17/11/2019	06:00	48.10	56.30	-8.20
17/11/2019	07:00	46.90	55.20	-8.30
17/11/2019	08:00	48.10	56.30	-8.20
17/11/2019	09:00	50.40	58.20	-7.80
17/11/2019	10:00	47.60	55.10	-7.50
17/11/2019	11:00	48.70	56.50	-7.80
17/11/2019	12:00	47.70	56.00	-8.30
17/11/2019	13:00	48.10	56.30	-8.20
17/11/2019	14:00	46.90	53.20	-6.30
17/11/2019	15:00	46.20	54.70	-8.50
17/11/2019	16:00	49.30	57.90	-8.60
17/11/2019	17:00	53.50	57.60	-4.10
17/11/2019	18:00	52.60	57.00	-4.40
17/11/2019	19:00	52.00	56.60	-4.60
17/11/2019	20:00	51.60	56.40	-4.80
17/11/2019	21:00	51.50	56.30	-4.80
17/11/2019	22:00	51.20	56.00	-4.80
17/11/2019	23:00	51.40	57.30	-5.90
18/11/2019	18/11/2019 00:00	51.70	56.60	-4.90
18/11/2019	01:00	53.70	59.20	-5.50
18/11/2019	02:00	53.10	57.90	-4.80
18/11/2019	03:00	52.60	57.20	-4.60
18/11/2019	04:00	51.90	57.00	-5.10
18/11/2019	05:00	51.30	56.60	-5.30
18/11/2019	06:00	52.50	57.50	-5.00
18/11/2019	07:00	53.10	58.20	-5.10
18/11/2019	08:00	55.00	61.50	-6.50
18/11/2019	09:00	58.30	63.10	-4.80
18/11/2019	10:00	61.70	66.00	-4.30
18/11/2019	11:00	63.90	67.10	-3.20
18/11/2019	12:00	61.20	66.00	-4.80
18/11/2019	13:00	58.70	64.30	-5.60
18/11/2019	14:00	55.70	63.00	-7.30
18/11/2019	15:00	53.90	60.10	-6.20
18/11/2019	16:00	53.80	60.30	-6.50
18/11/2019	17:00	53.30	59.00	-5.70
18/11/2019	18:00	53.60	59.20	-5.60

18/11/2019	19:00	52.90	59.60	-6.70
18/11/2019	20:00	53.30	59.00	-5.70
18/11/2019	21:00	53.90	60.50	-6.60
18/11/2019	22:00	54.60	60.30	-5.70
18/11/2019	23:00	53.30	59.30	-6.00
19/11/2019	19/11/2019 00:00	53.80	58.90	-5.10
19/11/2019	01:00	52.40	58.10	-5.70
19/11/2019	02:00	52.60	57.90	-5.30
19/11/2019	03:00	52.90	58.70	-5.80
19/11/2019	04:00	52.30	58.10	-5.80
19/11/2019	05:00	52.50	58.20	-5.70
19/11/2019	06:00	52.80	58.10	-5.30
19/11/2019	07:00	53.60	59.30	-5.70
19/11/2019	08:00	54.90	60.50	-5.60
19/11/2019	09:00	55.50	61.10	-5.60
19/11/2019	10:00	56.00	61.90	-5.90
19/11/2019	11:00	55.80	59.50	-3.70
19/11/2019	12:00	55.40	59.70	-4.30
19/11/2019	13:00	55.00	59.90	-4.90
19/11/2019	14:00	54.60	60.00	-5.40
19/11/2019	15:00	54.40	61.10	-6.70
19/11/2019	16:00	54.20	59.40	-5.20
19/11/2019	17:00	53.70	59.00	-5.30
19/11/2019	18:00	54.20	59.70	-5.50
19/11/2019	19:00	51.90	58.90	-7.00
19/11/2019	20:00	53.20	59.10	-5.90
19/11/2019	21:00	52.90	59.60	-6.70
19/11/2019	22:00	54.60	60.30	-5.70
19/11/2019	23:00	53.30	59.30	-6.00
20/11/2019	20/11/2019 00:00	53.50	58.30	-4.80
20/11/2019	01:00	52.60	58.10	-5.50
20/11/2019	02:00	52.10	57.90	-5.80
20/11/2019	03:00	52.50	58.70	-6.20
20/11/2019	04:00	52.30	58.10	-5.80
20/11/2019	05:00	51.90	59.20	-7.30
20/11/2019	06:00	52.10	58.40	-6.30
20/11/2019	07:00	53.90	59.50	-5.60
20/11/2019	08:00	54.70	60.40	-5.70

20/11/2019	09:00	54.60	60.10	-5.50
20/11/2019	10:00	54.20	59.80	-5.60
20/11/2019	11:00	54.20	59.30	-5.10
20/11/2019	12:00	54.90	60.70	-5.80
20/11/2019	13:00	52.90	58.90	-6.00
20/11/2019	14:00	51.90	57.00	-5.10
20/11/2019	15:00	53.20	58.50	-5.30
20/11/2019	16:00	51.10	55.10	-4.00
20/11/2019	17:00	51.60	55.20	-3.60
20/11/2019	18:00	51.30	54.80	-3.50
20/11/2019	19:00	51.10	54.60	-3.50
20/11/2019	20:00	51.90	55.00	-3.10
20/11/2019	21:00	52.10	57.20	-5.10
20/11/2019	22:00	52.70	58.00	-5.30
20/11/2019	23:00	52.50	58.10	-5.60
21/11/2019	21/11/2019 00:00	52.10	57.00	-4.90
21/11/2019	01:00	52.20	56.80	-4.60
21/11/2019	02:00	52.60	56.60	-4.00
21/11/2019	03:00	52.30	56.60	-4.30
21/11/2019	04:00	52.50	57.50	-5.00
21/11/2019	05:00	52.20	57.20	-5.00
21/11/2019	06:00	52.90	57.70	-4.80
	MÁXIMO	75.50	69.90	32.00

Tabla 22 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) –
Termocuplas 3 y 4, Tubo 1

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
16/11/2019	16/11/2019 21:00	58.70	29.40	29.30
16/11/2019	16/11/2019 22:00	59.40	31.50	27.90
16/11/2019	23:00	59.90	33.40	26.50
17/11/2019	17/11/2019 00:00	64.70	39.10	25.60
17/11/2019	01:00	66.60	44.20	22.40
17/11/2019	02:00	68.10	45.70	22.40
17/11/2019	03:00	69.10	46.80	22.30
17/11/2019	04:00	70.40	48.10	22.30
17/11/2019	05:00	71.10	49.30	21.80
17/11/2019	06:00	71.80	50.40	21.40
17/11/2019	07:00	70.20	49.00	21.20
17/11/2019	08:00	71.50	49.60	21.90
17/11/2019	09:00	71.80	50.30	21.50
17/11/2019	10:00	70.90	49.50	21.40
17/11/2019	11:00	71.40	49.60	21.80
17/11/2019	12:00	71.10	49.70	21.40
17/11/2019	13:00	70.80	50.10	20.70
17/11/2019	14:00	71.50	48.90	22.60
17/11/2019	15:00	70.10	48.80	21.30
17/11/2019	16:00	68.10	47.50	20.60
17/11/2019	17:00	71.90	53.30	18.60
17/11/2019	18:00	71.00	51.80	19.20
17/11/2019	19:00	70.40	50.20	20.20
17/11/2019	20:00	70.00	48.20	21.80
17/11/2019	21:00	69.90	47.70	22.20
17/11/2019	22:00	69.70	46.80	22.90
17/11/2019	23:00	74.20	46.90	27.30
18/11/2019	18/11/2019 00:00	71.50	45.00	26.50
18/11/2019	01:00	70.60	46.40	24.20

18/11/2019	02:00	69.40	44.50	24.90
18/11/2019	03:00	69.80	44.50	25.30
18/11/2019	04:00	69.70	43.80	25.90
18/11/2019	05:00	69.90	43.90	26.00
18/11/2019	06:00	69.70	43.50	26.20
18/11/2019	07:00	70.40	43.80	26.60
18/11/2019	08:00	71.20	45.10	26.10
18/11/2019	09:00	71.90	47.80	24.10
18/11/2019	10:00	76.40	50.30	26.10
18/11/2019	11:00	77.30	51.10	26.20
18/11/2019	12:00	76.10	48.60	27.50
18/11/2019	13:00	75.40	47.90	27.50
18/11/2019	14:00	72.10	46.30	25.80
18/11/2019	15:00	69.40	45.90	23.50
18/11/2019	16:00	69.00	45.30	23.70
18/11/2019	17:00	68.70	45.40	23.30
18/11/2019	18:00	68.90	45.70	23.20
18/11/2019	19:00	69.00	44.50	24.50
18/11/2019	20:00	67.80	43.10	24.70
18/11/2019	21:00	68.20	43.30	24.90
18/11/2019	22:00	68.20	43.00	25.20
18/11/2019	23:00	67.80	42.20	25.60
19/11/2019	19/11/2019 00:00	67.40	41.80	25.60
19/11/2019	01:00	66.10	40.00	26.10
19/11/2019	02:00	65.90	39.90	26.00
19/11/2019	03:00	66.30	40.10	26.20
19/11/2019	04:00	67.00	40.80	26.20
19/11/2019	05:00	65.60	38.90	26.70
19/11/2019	06:00	65.70	39.20	26.50
19/11/2019	07:00	66.60	40.20	26.40
19/11/2019	08:00	67.20	41.00	26.20
19/11/2019	09:00	67.40	41.40	26.00
19/11/2019	10:00	67.60	41.80	25.80
19/11/2019	11:00	65.90	40.80	25.10
19/11/2019	12:00	65.80	40.50	25.30
19/11/2019	13:00	65.70	39.70	26.00
19/11/2019	14:00	65.50	39.10	26.40
19/11/2019	15:00	65.30	39.40	25.90
19/11/2019	16:00	64.90	39.20	25.70

19/11/2019	17:00	64.50	39.10	25.40
19/11/2019	18:00	64.80	39.40	25.40
19/11/2019	19:00	69.00	44.50	24.50
19/11/2019	20:00	62.80	37.20	25.60
19/11/2019	21:00	69.00	45.20	23.80
19/11/2019	22:00	63.80	38.40	25.40
19/11/2019	23:00	67.80	42.20	25.60
20/11/2019	20/11/2019 00:00	67.40	41.80	25.60
20/11/2019	01:00	66.10	41.00	25.10
20/11/2019	02:00	65.90	39.80	26.10
20/11/2019	03:00	66.30	40.10	26.20
20/11/2019	04:00	67.00	40.80	26.20
20/11/2019	05:00	61.40	35.80	25.60
20/11/2019	06:00	62.20	36.90	25.30
20/11/2019	07:00	62.50	37.30	25.20
20/11/2019	08:00	62.70	37.80	24.90
20/11/2019	09:00	62.50	38.30	24.20
20/11/2019	10:00	62.40	38.40	24.00
20/11/2019	11:00	62.00	38.50	23.50
20/11/2019	12:00	62.30	39.20	23.10
20/11/2019	13:00	60.90	38.60	22.30
20/11/2019	14:00	59.30	38.10	21.20
20/11/2019	15:00	60.10	38.70	21.40
20/11/2019	16:00	58.20	37.30	20.90
20/11/2019	17:00	58.20	36.30	21.90
20/11/2019	18:00	58.00	36.00	22.00
20/11/2019	19:00	57.90	36.70	21.20
20/11/2019	20:00	57.70	36.30	21.40
20/11/2019	21:00	58.50	36.90	21.60
20/11/2019	22:00	58.50	37.20	21.30
20/11/2019	23:00	60.70	40.80	19.90
21/11/2019	21/11/2019 00:00	61.80	41.00	20.80
21/11/2019	01:00	61.60	40.60	21.00
21/11/2019	02:00	61.30	40.30	21.00
21/11/2019	03:00	58.40	37.10	21.30
21/11/2019	04:00	57.70	35.40	22.30
21/11/2019	05:00	57.20	35.00	22.20
21/11/2019	06:00	57.70	35.40	22.30

	MÁXIMO	77.30	53.30	29.30
--	---------------	--------------	--------------	--------------

Figura 23 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4

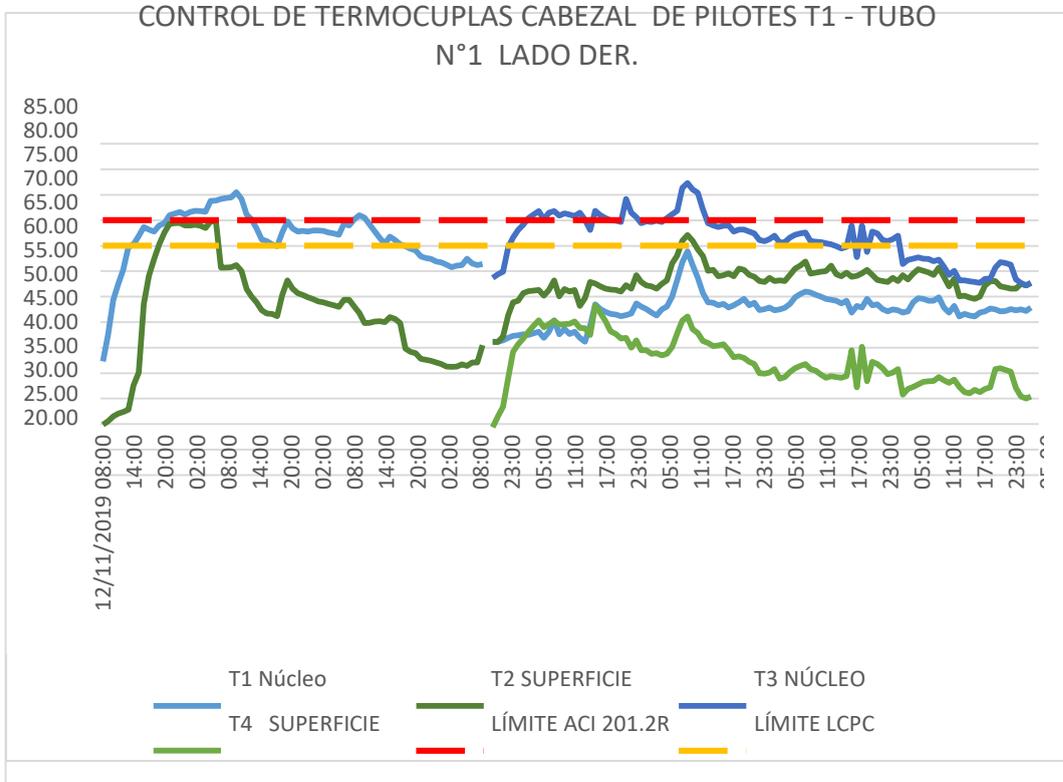
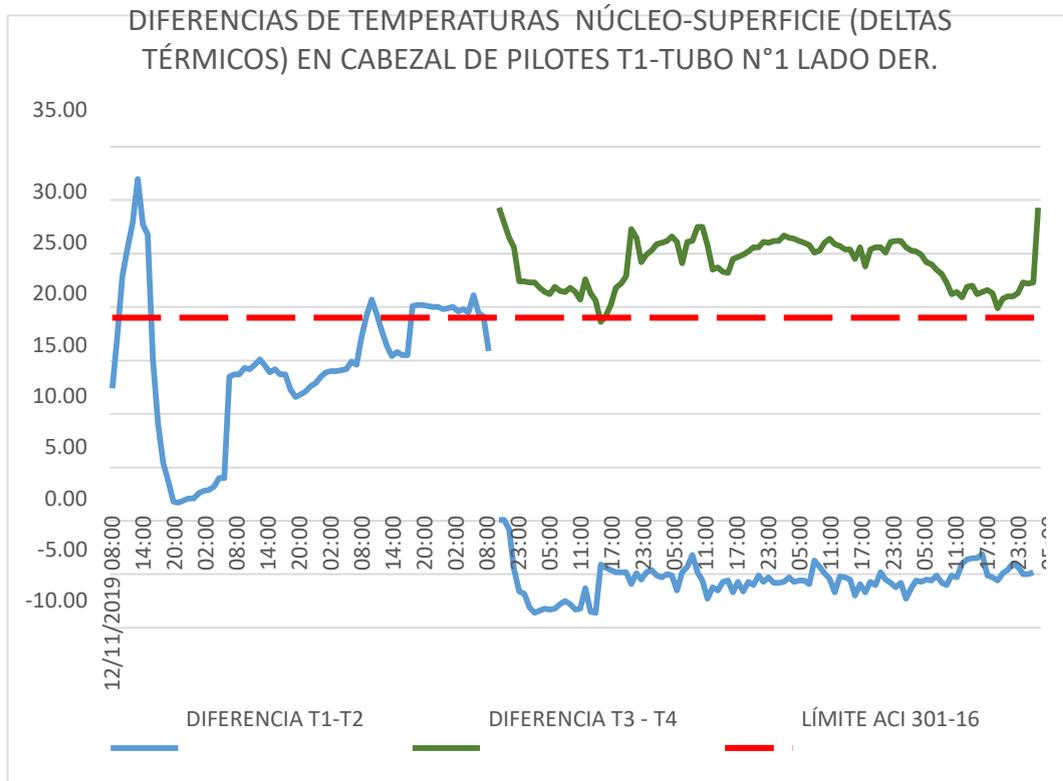


Figura 24 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4



Nota: Algunos deltas térmicos fueron negativos gracias al enfriamiento interno del elemento masivo por el sistema del bombeo de agua helada, causando que núcleo se enfrió más que la superficie.

Tabla 23 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
12/11/2019	12/11/2019 09:00			
12/11/2019	10:00	36.80	31.40	5.40
12/11/2019	11:00	42.90	31.60	11.30
12/11/2019	12:00	47.10	31.70	15.40
12/11/2019	13:00	57.10	32.50	24.60
12/11/2019	14:00	62.90	33.00	29.90

12/11/2019	15:00	64.40	33.80	30.60
12/11/2019	16:00	68.30	34.40	33.90
12/11/2019	17:00	69.20	38.70	30.50
12/11/2019	18:00	71.10	42.10	29.00
12/11/2019	19:00	71.90	49.00	22.90
12/11/2019	20:00	72.90	53.30	19.60
12/11/2019	21:00	75.10	57.00	18.10
12/11/2019	22:00	74.90	57.00	17.90
12/11/2019	23:00	74.70	57.10	17.60
13/11/2019	13/11/2019 00:00	73.50	56.30	17.20
13/11/2019	01:00	74.40	57.80	16.60
13/11/2019	02:00	75.40	58.70	16.70
13/11/2019	03:00	74.90	58.20	16.70
13/11/2019	04:00	74.10	57.70	16.40
13/11/2019	05:00	75.60	59.60	16.00
13/11/2019	06:00	76.20	60.80	15.40
13/11/2019	07:00	75.20	52.30	22.90
13/11/2019	08:00	74.40	50.40	24.00
13/11/2019	09:00	75.10	51.30	23.80
13/11/2019	10:00	70.50	48.90	21.60
13/11/2019	11:00	73.20	46.00	27.20
13/11/2019	12:00	72.70	44.60	28.10
13/11/2019	13:00	75.50	44.40	31.10
13/11/2019	14:00	72.20	44.10	28.10
13/11/2019	15:00	71.90	43.80	28.10
13/11/2019	16:00	71.50	43.10	28.40
13/11/2019	17:00	70.40	42.40	28.00
13/11/2019	18:00	69.20	41.70	27.50
13/11/2019	19:00	70.50	43.80	26.70
13/11/2019	20:00	71.10	45.10	26.00
13/11/2019	21:00	69.50	43.70	25.80
13/11/2019	22:00	68.80	42.10	26.70
13/11/2019	23:00	68.80	42.20	26.60
14/11/2019	14/11/2019 00:00	68.90	42.40	26.50
14/11/2019	01:00	69.00	42.50	26.50
14/11/2019	02:00	69.10	42.60	26.50
14/11/2019	03:00	69.20	42.70	26.50
14/11/2019	04:00	69.00	40.10	28.90
14/11/2019	05:00	68.80	37.90	30.90

14/11/2019	06:00	68.50	36.10	32.40
14/11/2019	07:00	70.20	43.10	27.10
14/11/2019	08:00	69.90	43.00	26.90
14/11/2019	09:00	69.40	43.10	26.30
14/11/2019	10:00	71.40	42.10	29.30
14/11/2019	11:00	69.60	40.30	29.30
14/11/2019	12:00	68.90	40.40	28.50
14/11/2019	13:00	68.10	40.70	27.40
14/11/2019	14:00	67.20	40.60	26.60
14/11/2019	15:00	66.60	41.00	25.60
14/11/2019	16:00	67.00	41.50	25.50
14/11/2019	17:00	66.90	41.30	25.60
14/11/2019	18:00	65.90	40.20	25.70
14/11/2019	19:00	65.70	35.70	30.00
14/11/2019	20:00	65.30	35.36	29.94
14/11/2019	21:00	64.80	35.80	29.00
14/11/2019	22:00	63.90	36.20	27.70
14/11/2019	23:00	63.90	36.30	27.60
15/11/2019	15/11/2019 00:00	63.20	36.00	27.20
15/11/2019	01:00	63.20	35.90	27.30
15/11/2019	02:00	62.90	35.60	27.30
15/11/2019	03:00	62.10	35.10	27.00
15/11/2019	04:00	62.00	34.80	27.20
15/11/2019	05:00	61.90	34.80	27.10
15/11/2019	06:00	63.30	36.30	27.00
15/11/2019	07:00	62.10	35.90	26.20
15/11/2019	08:00	61.80	35.90	25.90
15/11/2019	09:00	62.00	36.40	25.60
15/11/2019	10:00	61.70	37.90	23.80
16/11/2019	16/11/2019 00:00			
16/11/2019	16/11/2019 21:00	47.80	50.10	-2.30
16/11/2019	16/11/2019 22:00	47.80	50.90	-3.10
16/11/2019	23:00	47.90	51.40	-3.50
17/11/2019	17/11/2019 00:00	47.90	52.10	-4.20
17/11/2019	01:00	47.80	53.50	-5.70
17/11/2019	02:00	47.90	55.10	-7.20
17/11/2019	03:00	48.10	56.80	-8.70
17/11/2019	04:00	48.00	58.30	-10.30
17/11/2019	05:00	48.10	58.50	-10.40

17/11/2019	06:00	48.10	59.70	-11.60
17/11/2019	07:00	48.30	59.90	-11.60
17/11/2019	08:00	46.80	58.60	-11.80
17/11/2019	09:00	49.10	59.60	-10.50
17/11/2019	10:00	48.70	59.10	-10.40
17/11/2019	11:00	49.50	60.10	-10.60
17/11/2019	12:00	46.50	58.60	-12.10
17/11/2019	13:00	47.70	55.50	-7.80
17/11/2019	14:00	47.80	57.90	-10.10
17/11/2019	15:00	49.60	61.00	-11.40
17/11/2019	16:00	48.60	59.10	-10.50
17/11/2019	17:00	55.70	62.30	-6.60
17/11/2019	18:00	54.70	61.30	-6.60
17/11/2019	19:00	54.20	60.80	-6.60
17/11/2019	20:00	53.90	60.70	-6.80
17/11/2019	21:00	53.10	60.00	-6.90
17/11/2019	22:00	54.50	60.80	-6.30
17/11/2019	23:00	59.80	60.10	-0.30
18/11/2019	18/11/2019 00:00	54.10	61.00	-6.90
18/11/2019	01:00	56.40	63.30	-6.90
18/11/2019	02:00	55.60	62.20	-6.60
18/11/2019	03:00	55.20	61.90	-6.70
18/11/2019	04:00	55.00	61.30	-6.30
18/11/2019	05:00	48.20	60.10	-11.90
18/11/2019	06:00	54.30	61.00	-6.70
18/11/2019	07:00	53.80	58.10	-4.30
18/11/2019	08:00	55.90	61.00	-5.10
18/11/2019	09:00	57.30	63.10	-5.80
18/11/2019	10:00	58.70	64.40	-5.70
18/11/2019	11:00	59.60	65.10	-5.50
18/11/2019	12:00	58.40	65.30	-6.90
18/11/2019	13:00	57.20	65.64	-8.44
18/11/2019	14:00	56.90	65.40	-8.50
18/11/2019	15:00	56.60	65.10	-8.50
18/11/2019	16:00	56.40	64.30	-7.90
18/11/2019	17:00	56.60	63.70	-7.10
18/11/2019	18:00	56.20	64.00	-7.80
18/11/2019	19:00	55.90	64.20	-8.30
18/11/2019	20:00	55.40	62.10	-6.70

18/11/2019	21:00	55.80	62.90	-7.10
18/11/2019	22:00	56.50	63.50	-7.00
18/11/2019	23:00	55.60	62.90	-7.30
19/11/2019	19/11/2019 00:00	55.90	62.60	-6.70
19/11/2019	01:00	54.90	61.80	-6.90
19/11/2019	02:00	55.00	61.60	-6.60
19/11/2019	03:00	55.10	62.10	-7.00
19/11/2019	04:00	55.30	62.00	-6.70
19/11/2019	05:00	55.20	61.70	-6.50
19/11/2019	06:00	55.00	61.90	-6.90
19/11/2019	07:00	55.80	62.70	-6.90
19/11/2019	08:00	56.50	63.50	-7.00
19/11/2019	09:00	57.40	64.60	-7.20
19/11/2019	10:00	58.40	65.40	-7.00
19/11/2019	11:00	56.20	62.90	-6.70
19/11/2019	12:00	56.20	62.90	-6.70
19/11/2019	13:00	56.30	62.80	-6.50
19/11/2019	14:00	56.40	62.80	-6.40
19/11/2019	15:00	55.90	62.20	-6.30
19/11/2019	16:00	55.90	62.60	-6.70
19/11/2019	17:00	55.90	62.30	-6.40
19/11/2019	18:00	56.30	62.70	-6.40
19/11/2019	19:00	54.90	65.10	-10.20
19/11/2019	20:00	55.10	62.90	-7.80
19/11/2019	21:00	54.90	62.60	-7.70
19/11/2019	22:00	55.30	62.00	-6.70
19/11/2019	23:00	55.10	62.10	-7.00
20/11/2019	20/11/2019 00:00	55.90	62.60	-6.70
20/11/2019	01:00	54.90	61.90	-7.00
20/11/2019	02:00	55.00	61.60	-6.60
20/11/2019	03:00	55.10	62.10	-7.00
20/11/2019	04:00	55.90	61.90	-6.00
20/11/2019	05:00	55.00	61.20	-6.20
20/11/2019	06:00	55.80	62.20	-6.40
20/11/2019	07:00	56.30	62.80	-6.50
20/11/2019	08:00	56.70	63.30	-6.60
20/11/2019	09:00	56.10	62.50	-6.40
20/11/2019	10:00	55.80	61.80	-6.00
20/11/2019	11:00	55.60	61.80	-6.20

20/11/2019	12:00	56.60	62.70	-6.10
20/11/2019	13:00	55.10	61.30	-6.20
20/11/2019	14:00	53.90	60.10	-6.20
20/11/2019	15:00	56.20	62.40	-6.20
20/11/2019	16:00	53.10	59.70	-6.60
20/11/2019	17:00	56.40	62.90	-6.50
20/11/2019	18:00	53.20	60.30	-7.10
20/11/2019	19:00	53.60	60.50	-6.90
20/11/2019	20:00	52.90	60.10	-7.20
20/11/2019	21:00	54.80	60.70	-5.90
20/11/2019	22:00	55.60	61.20	-5.60
20/11/2019	23:00	53.50	59.30	-5.80
21/11/2019	21/11/2019 00:00	53.30	58.70	-5.40
21/11/2019	01:00	52.70	58.50	-5.80
21/11/2019	02:00	52.50	57.90	-5.40
21/11/2019	03:00	52.90	57.70	-4.80
21/11/2019	04:00	55.00	60.90	-5.90
21/11/2019	05:00	54.90	60.50	-5.60
21/11/2019	06:00	54.10	59.60	-5.50
	MÁXIMOS	76.20	65.64	33.90

Tabla 24 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 2

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
16/11/2019	16/11/2019 21:00	61.60	28.50	33.10
16/11/2019	16/11/2019 22:00	62.00	28.90	33.10
16/11/2019	23:00	63.80	30.50	33.30
17/11/2019	17/11/2019 00:00	64.90	33.40	31.50
17/11/2019	01:00	66.50	36.80	29.70
17/11/2019	02:00	67.20	39.70	27.50
17/11/2019	03:00	70.20	41.20	29.00
17/11/2019	04:00	72.50	42.50	30.00
17/11/2019	05:00	73.40	43.10	30.30
17/11/2019	06:00	75.70	46.60	29.10

17/11/2019	07:00	74.90	45.80	29.10
17/11/2019	08:00	73.50	45.10	28.40
17/11/2019	09:00	74.90	46.10	28.80
17/11/2019	10:00	74.10	48.00	26.10
17/11/2019	11:00	75.20	49.00	26.20
17/11/2019	12:00	73.10	45.60	27.50
17/11/2019	13:00	73.40	46.10	27.30
17/11/2019	14:00	72.50	47.10	25.40
17/11/2019	15:00	75.50	49.70	25.80
17/11/2019	16:00	76.40	48.70	27.70
17/11/2019	17:00	77.00	53.90	23.10
17/11/2019	18:00	76.70	52.80	23.90
17/11/2019	19:00	75.80	51.00	24.80
17/11/2019	20:00	75.90	49.70	26.20
17/11/2019	21:00	75.70	48.90	26.80
17/11/2019	22:00	76.10	48.20	27.90
17/11/2019	23:00	76.70	48.30	28.40
18/11/2019	18/11/2019 00:00	75.60	46.60	29.00
18/11/2019	01:00	78.00	48.10	29.90
18/11/2019	02:00	76.00	46.00	30.00
18/11/2019	03:00	75.40	44.90	30.50
18/11/2019	04:00	76.00	45.00	31.00
18/11/2019	05:00	75.80	44.40	31.40
18/11/2019	06:00	75.70	43.90	31.80
18/11/2019	07:00	73.90	40.70	33.20
18/11/2019	08:00	73.00	39.40	33.60
18/11/2019	09:00	74.10	44.20	29.90
18/11/2019	10:00	76.40	48.50	27.90
18/11/2019	11:00	78.20	50.80	27.40
18/11/2019	12:00	76.90	49.20	27.70
18/11/2019	13:00	76.30	48.20	28.10
18/11/2019	14:00	75.40	47.20	28.20
18/11/2019	15:00	74.80	46.70	28.10
18/11/2019	16:00	74.90	46.40	28.50
18/11/2019	17:00	75.10	46.60	28.50
18/11/2019	18:00	74.90	46.00	28.90
18/11/2019	19:00	75.30	45.30	30.00
18/11/2019	20:00	73.60	43.00	30.60
18/11/2019	21:00	73.70	42.80	30.90

18/11/2019	22:00	73.60	42.30	31.30
18/11/2019	23:00	73.60	41.60	32.00
19/11/2019	19/11/2019 00:00	73.40	40.80	32.60
19/11/2019	01:00	72.00	39.80	32.20
19/11/2019	02:00	71.80	39.60	32.20
19/11/2019	03:00	72.00	39.80	32.20
19/11/2019	04:00	72.80	40.50	32.30
19/11/2019	05:00	71.60	39.30	32.30
19/11/2019	06:00	71.00	38.70	32.30
19/11/2019	07:00	71.70	39.60	32.10
19/11/2019	08:00	72.40	40.50	31.90
19/11/2019	09:00	72.90	41.40	31.50
19/11/2019	10:00	73.40	42.20	31.20
19/11/2019	11:00	71.10	40.10	31.00
19/11/2019	12:00	70.80	39.80	31.00
19/11/2019	13:00	70.50	39.50	31.00
19/11/2019	14:00	70.20	39.00	31.20
19/11/2019	15:00	70.30	38.60	31.70
19/11/2019	16:00	69.90	38.40	31.50
19/11/2019	17:00	69.80	38.70	31.10
19/11/2019	18:00	70.20	39.10	31.10
19/11/2019	19:00	74.90	46.20	28.70
19/11/2019	20:00	68.80	37.50	31.30
19/11/2019	21:00	69.60	38.60	31.00
19/11/2019	22:00	69.30	38.20	31.10
19/11/2019	23:00	72.30	38.60	33.70
20/11/2019	20/11/2019 00:00	73.40	41.60	31.80
20/11/2019	01:00	72.10	40.10	32.00
20/11/2019	02:00	71.50	39.50	32.00
20/11/2019	03:00	72.00	39.20	32.80
20/11/2019	04:00	72.80	40.50	32.30
20/11/2019	05:00	66.50	35.50	31.00
20/11/2019	06:00	66.70	36.00	30.70
20/11/2019	07:00	66.90	36.30	30.60
20/11/2019	08:00	67.00	36.60	30.40
20/11/2019	09:00	66.10	36.40	29.70
20/11/2019	10:00	65.60	36.70	28.90
20/11/2019	11:00	65.90	37.50	28.40
20/11/2019	12:00	66.10	38.50	27.60

20/11/2019	13:00	65.00	38.50	26.50
20/11/2019	14:00	63.50	38.50	25.00
20/11/2019	15:00	65.80	40.30	25.50
20/11/2019	16:00	64.30	37.10	27.20
20/11/2019	17:00	66.40	40.10	26.30
20/11/2019	18:00	64.30	38.60	25.70
20/11/2019	19:00	64.60	38.20	26.40
20/11/2019	20:00	62.80	35.80	27.00
20/11/2019	21:00	63.50	36.90	26.60
20/11/2019	22:00	63.30	36.60	26.70
20/11/2019	23:00	63.90	37.80	26.10
21/11/2019	21/11/2019 00:00	63.70	37.50	26.20
21/11/2019	01:00	63.70	37.40	26.30
21/11/2019	02:00	63.80	36.90	26.90
21/11/2019	03:00	63.50	36.40	27.10
21/11/2019	04:00	62.40	34.90	27.50
21/11/2019	05:00	61.80	34.80	27.00
21/11/2019	06:00	61.20	34.20	27.00
	MÁXIMOS	78.20	53.90	33.70

Figura 25 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4

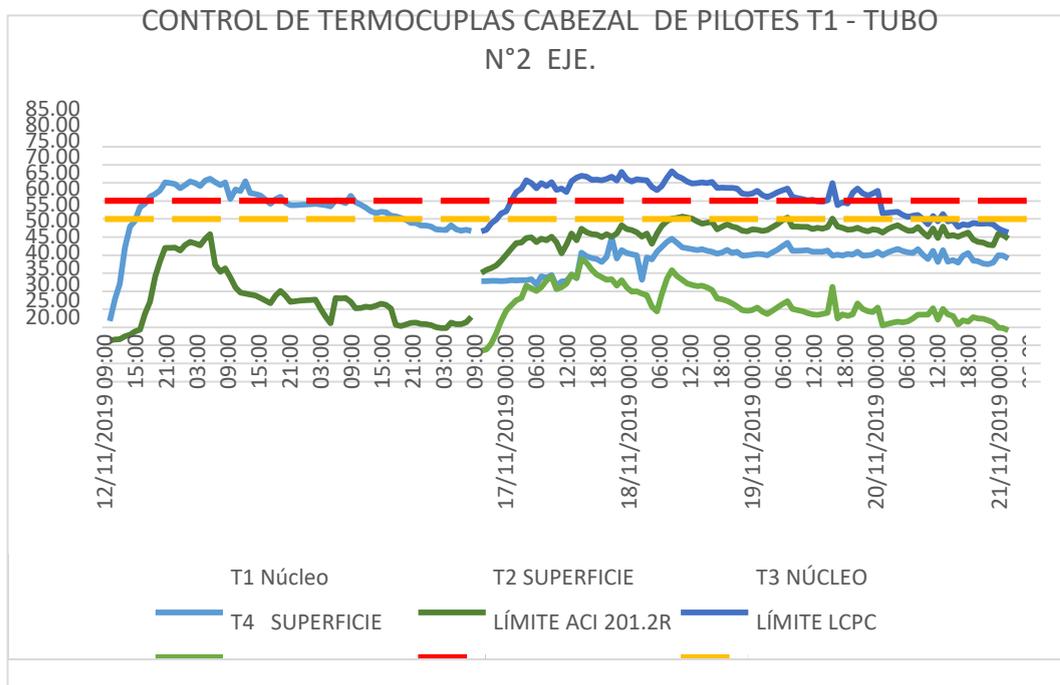
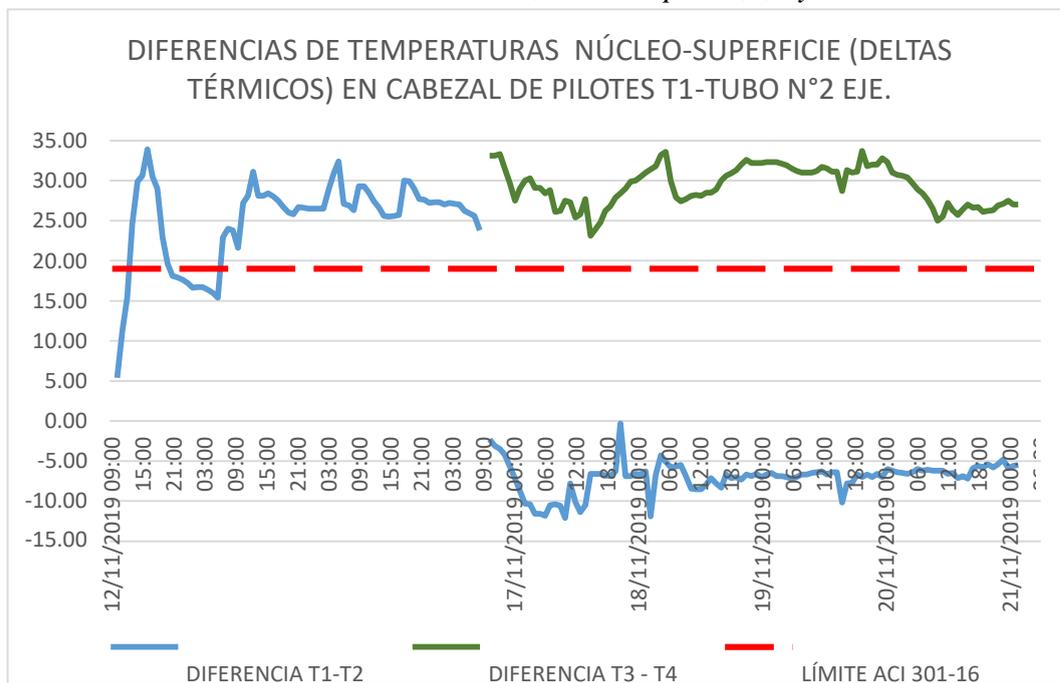


Figura 26 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1 Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4



Nota: Algunos deltas térmicos fueron negativos gracias al enfriamiento interno del elemento masivo por el sistema del bombeo de agua helada, causando que núcleo se enfrió más que la superficie.

Tabla 25 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
12/11/2019	18:00	33.00	29.00	4.00
12/11/2019	19:00	33.10	29.50	3.60
12/11/2019	20:00	36.00	29.20	6.80
12/11/2019	21:00	46.20	31.10	15.10
12/11/2019	22:00	50.90	30.40	20.50
12/11/2019	23:00	56.10	29.90	26.20
13/11/2019	13/11/2019 00:00	59.40	29.50	29.90
13/11/2019	01:00	62.50	31.90	30.60
13/11/2019	02:00	64.80	33.70	31.10
13/11/2019	03:00	65.00	38.30	26.70
13/11/2019	04:00	65.50	42.20	23.30
13/11/2019	05:00	67.00	50.20	16.80
13/11/2019	06:00	68.30	52.90	15.40
13/11/2019	07:00	69.10	52.00	17.10
13/11/2019	08:00	70.10	51.20	18.90
13/11/2019	09:00	72.40	55.80	16.60
13/11/2019	10:00	69.90	54.30	15.60
13/11/2019	11:00	71.50	53.90	17.60
13/11/2019	12:00	71.50	53.20	18.30
13/11/2019	13:00	71.30	51.70	19.60
13/11/2019	14:00	70.80	49.40	21.40
13/11/2019	15:00	69.30	47.60	21.70
13/11/2019	16:00	69.00	47.10	21.90
13/11/2019	17:00	68.50	46.90	21.60
13/11/2019	18:00	68.20	46.50	21.70
13/11/2019	19:00	70.50	43.80	26.70

13/11/2019	20:00	71.10	45.10	26.00
13/11/2019	21:00	69.50	43.70	25.80
13/11/2019	22:00	68.80	42.10	26.70
13/11/2019	23:00	68.80	42.20	26.60
14/11/2019	14/11/2019 00:00	68.90	42.40	26.50
14/11/2019	01:00	69.00	42.50	26.50
14/11/2019	02:00	69.10	42.60	26.50
14/11/2019	03:00	69.20	42.70	26.50
14/11/2019	04:00	69.00	40.10	28.90
14/11/2019	05:00	68.80	37.90	30.90
14/11/2019	06:00	68.50	36.10	32.40
14/11/2019	07:00	71.00	47.20	23.80
14/11/2019	08:00	70.00	47.00	23.00
14/11/2019	09:00	69.80	47.10	22.70
14/11/2019	10:00	72.20	45.40	26.80
14/11/2019	11:00	70.90	42.90	28.00
14/11/2019	12:00	70.30	43.70	26.60
14/11/2019	13:00	70.10	44.60	25.50
14/11/2019	14:00	69.40	45.10	24.30
14/11/2019	15:00	68.60	45.50	23.10
14/11/2019	16:00	68.90	44.50	24.40
14/11/2019	17:00	67.40	43.90	23.50
14/11/2019	18:00	66.80	43.50	23.30
14/11/2019	19:00	65.70	37.40	28.30
14/11/2019	20:00	65.40	37.20	28.20
14/11/2019	21:00	65.10	37.00	28.10
14/11/2019	22:00	64.20	37.90	26.30
14/11/2019	23:00	63.90	37.40	26.50
15/11/2019	15/11/2019 00:00	63.60	37.10	26.50
15/11/2019	01:00	63.40	30.50	32.90
15/11/2019	02:00	62.90	36.50	26.40
15/11/2019	03:00	62.20	36.00	26.20
15/11/2019	04:00	61.90	36.10	25.80
15/11/2019	05:00	61.70	35.90	25.80
15/11/2019	06:00	62.00	36.60	25.40
15/11/2019	07:00	62.80	37.60	25.20
15/11/2019	08:00	62.00	37.20	24.80
15/11/2019	09:00	62.70	38.60	24.10
15/11/2019	10:00	62.00	40.30	21.70

17/11/2019	17/11/2019 00:00			
17/11/2019	17/11/2019 01:00	46.10	50.40	-4.30
17/11/2019	17/11/2019 02:00	46.20	52.50	-6.30
17/11/2019	17/11/2019 03:00	46.60	53.40	-6.80
17/11/2019	04:00	46.50	54.30	-7.80
17/11/2019	05:00	46.70	54.80	-8.10
17/11/2019	06:00	46.80	55.20	-8.40
17/11/2019	07:00	47.10	55.30	-8.20
17/11/2019	08:00	46.20	55.00	-8.80
17/11/2019	09:00	49.40	57.60	-8.20
17/11/2019	10:00	47.30	55.80	-8.50
17/11/2019	11:00	47.60	56.10	-8.50
17/11/2019	12:00	49.40	55.90	-6.50
17/11/2019	13:00	51.30	48.70	2.60
17/11/2019	14:00	46.40	55.80	-9.40
17/11/2019	15:00	50.90	59.60	-8.70
17/11/2019	16:00	47.90	57.00	-9.10
17/11/2019	17:00	53.00	58.90	-5.90
17/11/2019	18:00	51.60	57.90	-6.30
17/11/2019	19:00	51.40	57.70	-6.30
17/11/2019	20:00	50.50	57.10	-6.60
17/11/2019	21:00	50.60	57.20	-6.60
17/11/2019	22:00	50.90	57.70	-6.80
17/11/2019	23:00	52.50	57.50	-5.00
18/11/2019	18/11/2019 00:00	50.70	57.40	-6.70
18/11/2019	01:00	53.10	59.90	-6.80
18/11/2019	02:00	51.90	57.60	-5.70
18/11/2019	03:00	51.60	57.30	-5.70
18/11/2019	04:00	50.90	57.00	-6.10
18/11/2019	05:00	47.80	55.90	-8.10
18/11/2019	06:00	50.60	58.10	-7.50
18/11/2019	07:00	47.60	56.00	-8.40
18/11/2019	08:00	50.40	59.60	-9.20
18/11/2019	09:00	51.80	60.00	-8.20
18/11/2019	10:00	52.40	59.20	-6.80
18/11/2019	11:00	53.70	59.20	-5.50
18/11/2019	12:00	53.40	59.00	-5.60
18/11/2019	13:00	53.00	59.10	-6.10
18/11/2019	14:00	53.10	59.30	-6.20

18/11/2019	15:00	52.90	59.90	-7.00
18/11/2019	16:00	53.40	60.70	-7.30
18/11/2019	17:00	54.30	61.70	-7.40
18/11/2019	18:00	54.10	61.20	-7.10
18/11/2019	19:00	54.00	61.40	-7.40
18/11/2019	20:00	51.80	59.80	-8.00
18/11/2019	21:00	52.10	59.60	-7.50
18/11/2019	22:00	52.60	59.90	-7.30
18/11/2019	23:00	52.50	60.30	-7.80
19/11/2019	19/11/2019 00:00	51.90	60.20	-8.30
19/11/2019	01:00	52.00	59.50	-7.50
19/11/2019	02:00	51.80	60.00	-8.20
19/11/2019	03:00	51.90	59.50	-7.60
19/11/2019	04:00	51.10	59.00	-7.90
19/11/2019	05:00	51.80	59.50	-7.70
19/11/2019	06:00	52.10	59.70	-7.60
19/11/2019	07:00	52.70	60.20	-7.50
19/11/2019	08:00	53.30	60.80	-7.50
19/11/2019	09:00	53.80	61.50	-7.70
19/11/2019	10:00	54.40	62.10	-7.70
19/11/2019	11:00	53.30	60.90	-7.60
19/11/2019	12:00	53.20	60.80	-7.60
19/11/2019	13:00	53.10	60.60	-7.50
19/11/2019	14:00	52.90	60.40	-7.50
19/11/2019	15:00	52.30	60.40	-8.10
19/11/2019	16:00	52.30	60.00	-7.70
19/11/2019	17:00	52.90	60.40	-7.50
19/11/2019	18:00	52.90	60.50	-7.60
19/11/2019	19:00	54.20	61.60	-7.40
19/11/2019	20:00	51.90	60.80	-8.90
19/11/2019	21:00	52.60	60.60	-8.00
19/11/2019	22:00	52.90	59.90	-7.00
19/11/2019	23:00	52.50	60.30	-7.80
20/11/2019	20/11/2019 00:00	51.90	60.10	-8.20
20/11/2019	01:00	52.10	59.60	-7.50
20/11/2019	02:00	51.60	59.20	-7.60
20/11/2019	03:00	51.90	59.50	-7.60
20/11/2019	04:00	51.30	59.20	-7.90
20/11/2019	05:00	52.00	59.00	-7.00

20/11/2019	06:00	53.10	60.30	-7.20
20/11/2019	07:00	53.50	60.80	-7.30
20/11/2019	08:00	53.80	61.20	-7.40
20/11/2019	09:00	52.60	59.60	-7.00
20/11/2019	10:00	52.60	59.60	-7.00
20/11/2019	11:00	52.40	59.80	-7.40
20/11/2019	12:00	52.90	60.40	-7.50
20/11/2019	13:00	51.10	58.60	-7.50
20/11/2019	14:00	49.50	56.80	-7.30
20/11/2019	15:00	54.60	61.70	-7.10
20/11/2019	16:00	52.50	57.90	-5.40
20/11/2019	17:00	53.10	59.50	-6.40
20/11/2019	18:00	52.10	58.30	-6.20
20/11/2019	19:00	52.00	58.10	-6.10
20/11/2019	20:00	52.50	57.70	-5.20
20/11/2019	21:00	52.30	58.90	-6.60
20/11/2019	22:00	52.50	59.10	-6.60
20/11/2019	23:00	52.60	60.30	-7.70
21/11/2019	21/11/2019 00:00	52.90	60.20	-7.30
21/11/2019	01:00	52.00	59.50	-7.50
21/11/2019	02:00	51.80	60.00	-8.20
21/11/2019	03:00	51.90	59.30	-7.40
21/11/2019	04:00	52.40	58.80	-6.40
21/11/2019	05:00	52.20	58.50	-6.30
21/11/2019	06:00	52.70	58.80	-6.10
	MAXIMOS	72.40	62.10	32.90

*Tabla 26 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 1 (°C) –
Termocuplas 3 y 4, Tubo 3*

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
17/11/2019	17/11/2019 01:00	30.10	28.90	1.20
17/11/2019	17/11/2019 02:00	35.40	28.80	6.60
17/11/2019	17/11/2019 03:00	43.50	29.00	14.50

17/11/2019	04:00	51.40	29.50	21.90
17/11/2019	05:00	56.90	29.60	27.30
17/11/2019	06:00	60.20	29.70	30.50
17/11/2019	07:00	60.30	31.10	29.20
17/11/2019	08:00	60.80	30.80	30.00
17/11/2019	09:00	64.60	41.10	23.50
17/11/2019	10:00	65.70	49.70	16.00
17/11/2019	11:00	64.00	50.50	13.50
17/11/2019	12:00	67.10	31.70	35.40
17/11/2019	13:00	60.50	30.90	29.60
17/11/2019	14:00	65.70	31.60	34.10
17/11/2019	15:00	68.60	57.50	11.10
17/11/2019	16:00	67.00	54.70	12.30
17/11/2019	17:00	74.90	52.90	22.00
17/11/2019	18:00	73.90	50.90	23.00
17/11/2019	19:00	73.80	49.80	24.00
17/11/2019	20:00	73.20	48.00	25.20
17/11/2019	21:00	72.90	47.00	25.90
17/11/2019	22:00	73.40	46.50	26.90
17/11/2019	23:00	70.60	47.30	23.30
18/11/2019	18/11/2019 00:00	72.70	45.00	27.70
18/11/2019	01:00	74.00	45.50	28.50
18/11/2019	02:00	73.80	44.20	29.60
18/11/2019	03:00	72.80	42.90	29.90
18/11/2019	04:00	73.80	44.00	29.80
18/11/2019	05:00	73.30	43.00	30.30
18/11/2019	06:00	73.00	42.20	30.80
18/11/2019	07:00	70.80	40.20	30.60
18/11/2019	08:00	70.00	39.60	30.40
18/11/2019	09:00	72.10	42.90	29.20
18/11/2019	10:00	74.90	45.80	29.10
18/11/2019	11:00	76.80	48.20	28.60
18/11/2019	12:00	74.50	47.30	27.20
18/11/2019	13:00	73.10	46.20	26.90
18/11/2019	14:00	72.30	43.90	28.40
18/11/2019	15:00	69.60	42.30	27.30
18/11/2019	16:00	72.80	43.80	29.00
18/11/2019	17:00	73.70	44.40	29.30
18/11/2019	18:00	73.30	44.20	29.10

18/11/2019	19:00	73.00	42.70	30.30
18/11/2019	20:00	71.80	41.20	30.60
18/11/2019	21:00	71.70	40.70	31.00
18/11/2019	22:00	72.30	40.40	31.90
18/11/2019	23:00	71.40	39.60	31.80
19/11/2019	19/11/2019 00:00	70.90	39.10	31.80
19/11/2019	01:00	70.00	38.10	31.90
19/11/2019	02:00	69.90	37.80	32.10
19/11/2019	03:00	70.10	38.10	32.00
19/11/2019	04:00	71.00	38.70	32.30
19/11/2019	05:00	69.00	37.20	31.80
19/11/2019	06:00	69.40	36.70	32.70
19/11/2019	07:00	69.90	37.70	32.20
19/11/2019	08:00	70.40	38.70	31.70
19/11/2019	09:00	71.00	39.50	31.50
19/11/2019	10:00	71.60	40.30	31.30
19/11/2019	11:00	69.50	38.90	30.60
19/11/2019	12:00	69.20	38.60	30.60
19/11/2019	13:00	69.00	38.10	30.90
19/11/2019	14:00	68.70	37.60	31.10
19/11/2019	15:00	68.20	36.60	31.60
19/11/2019	16:00	67.90	37.00	30.90
19/11/2019	17:00	68.20	37.40	30.80
19/11/2019	18:00	68.00	37.60	30.40
19/11/2019	19:00	70.80	39.80	31.00
19/11/2019	20:00	66.60	36.70	29.90
19/11/2019	21:00	67.00	36.20	30.80
19/11/2019	22:00	67.30	36.80	30.50
19/11/2019	23:00	69.10	37.10	32.00
20/11/2019	20/11/2019 00:00	69.60	37.90	31.70
20/11/2019	01:00	70.20	39.00	31.20
20/11/2019	02:00	71.00	38.10	32.90
20/11/2019	03:00	70.10	39.00	31.10
20/11/2019	04:00	70.90	38.70	32.20
20/11/2019	05:00	64.30	34.30	30.00
20/11/2019	06:00	65.50	35.20	30.30
20/11/2019	07:00	65.60	35.50	30.10
20/11/2019	08:00	65.60	35.70	29.90
20/11/2019	09:00	64.00	35.10	28.90

20/11/2019	10:00	63.00	35.40	27.60
20/11/2019	11:00	63.60	36.10	27.50
20/11/2019	12:00	63.30	37.60	25.70
20/11/2019	13:00	61.80	37.30	24.50
20/11/2019	14:00	60.50	36.80	23.70
20/11/2019	15:00	65.10	39.90	25.20
20/11/2019	16:00	62.40	37.50	24.90
20/11/2019	17:00	61.90	37.60	24.30
20/11/2019	18:00	60.60	37.50	23.10
20/11/2019	19:00	60.10	38.00	22.10
20/11/2019	20:00	60.60	34.30	26.30
20/11/2019	21:00	60.40	35.40	25.00
20/11/2019	22:00	61.50	35.00	26.50
20/11/2019	23:00	62.00	35.40	26.60
21/11/2019	21/11/2019 00:00	61.90	35.10	26.80
21/11/2019	01:00	61.50	34.80	26.70
21/11/2019	02:00	61.30	34.50	26.80
21/11/2019	03:00	61.20	34.70	26.50
21/11/2019	04:00	60.20	34.00	26.20
21/11/2019	05:00	59.80	33.90	25.90
21/11/2019	06:00	60.00	33.80	26.20
	MAXIMOS	76.80	57.50	35.40

Figura 27 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4

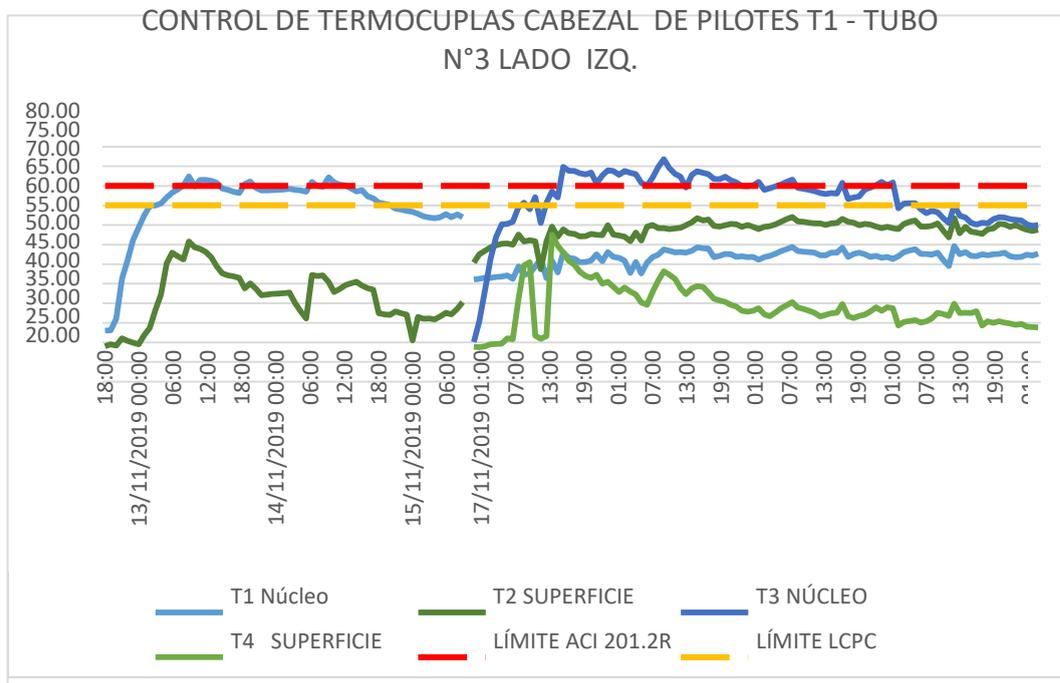
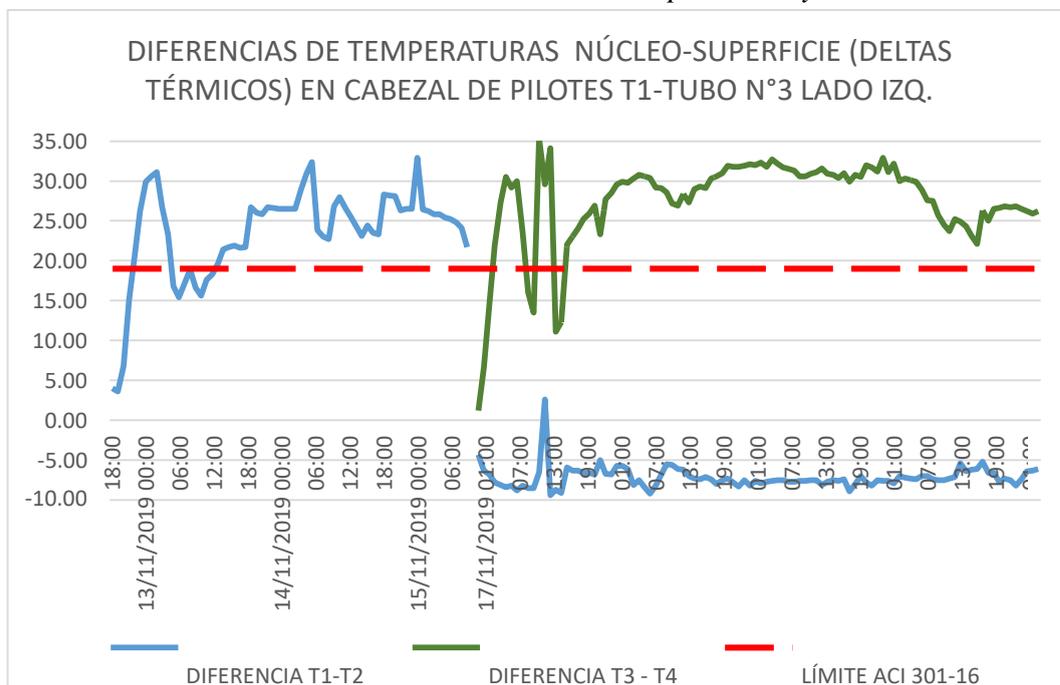


Figura 28 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 1, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4



Nota: Algunos deltas térmicos fueron negativos gracias al enfriamiento interno del elemento masivo por el sistema del bombeo de agua helada, causando que núcleo se enfrió mas que la superficie.

4.3.3. Cabezal de Pilotes de Torre 2

Tabla 27 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 1

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
1/12/2019	1/12/2019 19:00	79.50	67.70	11.80
1/12/2019	20:00	79.20	66.10	13.10
1/12/2019	21:00	78.40	66.60	11.80
1/12/2019	22:00	77.10	65.50	11.60
1/12/2019	23:00	77.30	65.70	11.60
2/12/2019	2/12/2019 00:00	71.40	62.60	8.80
2/12/2019	01:00	73.40	63.60	9.80
2/12/2019	02:00	73.80	63.30	10.50
2/12/2019	03:00	73.60	63.00	10.60
2/12/2019	04:00	73.70	63.60	10.10
2/12/2019	05:00	75.60	62.60	13.00
2/12/2019	06:00	77.40	63.30	14.10
2/12/2019	07:00	75.50	61.10	14.40
2/12/2019	08:00	75.70	47.40	28.30
2/12/2019	09:00	76.20	53.80	22.40
2/12/2019	10:00	79.20	63.10	16.10
2/12/2019	11:00	77.80	62.50	15.30
2/12/2019	12:00	76.90	62.90	14.00
2/12/2019	13:00	77.90	63.90	14.00
2/12/2019	14:00	74.30	50.60	23.70
2/12/2019	15:00	70.10	60.10	10.00
2/12/2019	16:00	70.90	60.20	10.70
2/12/2019	17:00	75.60	58.60	17.00
2/12/2019	18:00	74.00	55.10	18.90

2/12/2019	19:00	68.30	38.20	30.10
2/12/2019	20:00	68.90	39.30	29.60
2/12/2019	21:00	68.60	39.60	29.00
2/12/2019	22:00	69.30	39.20	30.10
2/12/2019	23:00	66.60	38.10	28.50
3/12/2019	3/12/2019 00:00	65.90	38.60	27.30
3/12/2019	01:00	65.80	37.90	27.90
3/12/2019	02:00	65.60	37.70	27.90
3/12/2019	03:00	66.30	35.20	31.10
3/12/2019	04:00	65.60	35.90	29.70
3/12/2019	05:00	65.90	35.70	30.20
3/12/2019	06:00	66.30	35.30	31.00
3/12/2019	07:00	66.10	34.90	31.20
3/12/2019	08:00	67.80	43.50	24.30
3/12/2019	09:00	68.00	45.10	22.90
3/12/2019	10:00	71.50	48.00	23.50
3/12/2019	11:00	69.40	45.50	23.90
3/12/2019	12:00	69.00	45.10	23.90
3/12/2019	13:00	67.70	48.10	19.60
3/12/2019	14:00	60.10	42.30	17.80
3/12/2019	15:00	63.90	40.20	23.70
3/12/2019	16:00	63.50	40.40	23.10
3/12/2019	17:00	64.30	42.80	21.50
3/12/2019	18:00	65.30	43.20	22.10
3/12/2019	19:00	67.00	46.50	20.50
3/12/2019	20:00	67.30	46.20	21.10
3/12/2019	21:00	68.10	47.20	20.90
3/12/2019	22:00	67.80	45.90	21.90
3/12/2019	23:00	67.90	46.20	21.70
4/12/2019	4/12/2019 00:00	67.30	45.10	22.20
4/12/2019	01:00	66.90	45.90	21.00
4/12/2019	02:00	66.50	46.80	19.70
4/12/2019	03:00	66.90	45.60	21.30
4/12/2019	04:00	66.60	46.70	19.90
4/12/2019	05:00	66.40	46.50	19.90
4/12/2019	06:00	66.90	46.70	20.20
4/12/2019	07:00	66.50	46.30	20.20
4/12/2019	08:00	64.90	44.90	20.00
4/12/2019	09:00	64.40	45.10	19.30

4/12/2019	10:00	60.50	41.80	18.70
4/12/2019	11:00	62.10	40.50	21.60
4/12/2019	12:00	62.70	40.90	21.80
4/12/2019	13:00	59.70	40.60	19.10
4/12/2019	14:00	58.10	37.60	20.50
4/12/2019	15:00	56.10	31.70	24.40
4/12/2019	16:00	61.50	40.80	20.70
4/12/2019	17:00	51.90	41.50	10.40
4/12/2019	18:00	59.10	40.00	19.10
5/12/2019	5/12/2019 00:00			
5/12/2019	5/12/2019 07:00	56.30	50.00	6.30
5/12/2019	5/12/2019 08:00	56.90	51.10	5.80
5/12/2019	09:00	59.10	53.00	6.10
5/12/2019	10:00	60.10	51.00	9.10
5/12/2019	11:00	61.20	49.10	12.10
5/12/2019	23:00	55.20	51.90	3.30
6/12/2019	6/12/2019 00:00	55.40	52.30	3.10
6/12/2019	01:00	56.10	51.80	4.30
6/12/2019	02:00	55.20	51.60	3.60
6/12/2019	03:00	54.90	51.90	3.00
6/12/2019	04:00	55.50	52.10	3.40
6/12/2019	05:00	54.60	51.90	2.70
6/12/2019	06:00	55.20	52.70	2.50
6/12/2019	07:00	56.60	50.90	5.70
	MÁXIMO	79.50	67.70	31.20

Tabla 28 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 1

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
5/12/2019	23:00	69.70	26.60	43.10
6/12/2019	6/12/2019 00:00	70.10	29.30	40.80
6/12/2019	01:00	72.30	30.40	41.90
6/12/2019	02:00	72.60	31.60	41.00

6/12/2019	03:00	71.80	31.30	40.50
6/12/2019	04:00	72.60	32.20	40.40
6/12/2019	05:00	72.90	32.00	40.90
6/12/2019	06:00	73.50	31.90	41.60
6/12/2019	07:00	73.10	31.30	41.80
MÁXIMO		73.50	32.20	43.10

Figura 29 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4

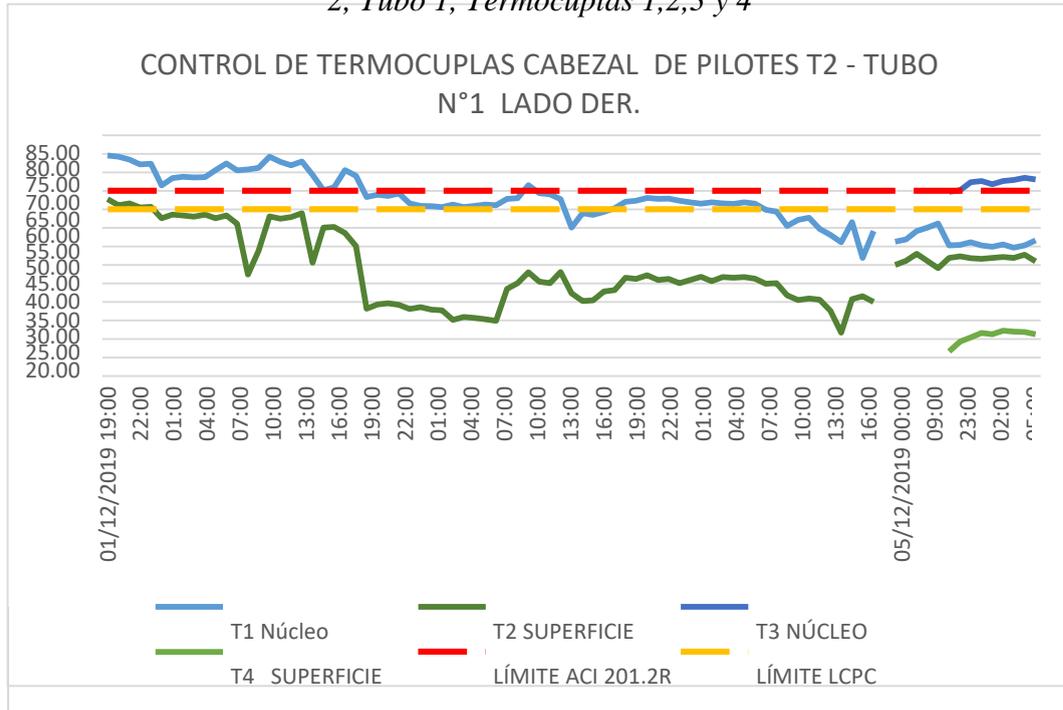


Figura 30 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 1, Termocuplas 1,2,3 y 4

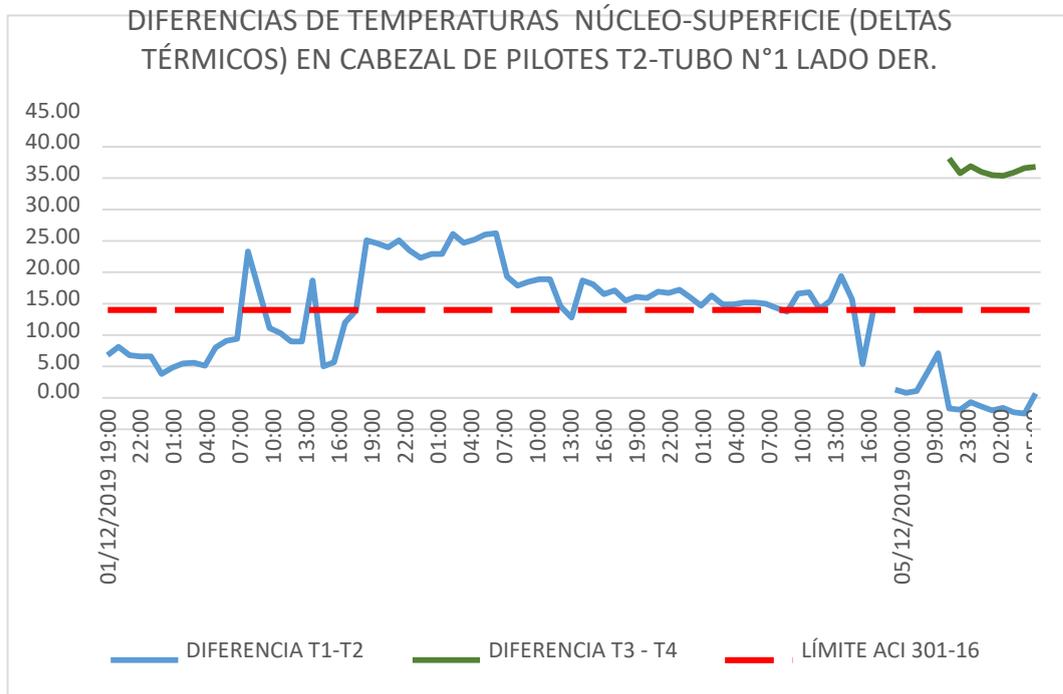


Tabla 29 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 2

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
1/12/2019	1/12/2019 19:00	73.60	31.80	41.80
1/12/2019	20:00	72.20	30.90	41.30
1/12/2019	21:00	74.30	33.60	40.70
1/12/2019	22:00	74.10	39.50	34.60
1/12/2019	23:00	73.80	38.30	35.50
2/12/2019	2/12/2019 00:00	73.20	37.40	35.80
2/12/2019	01:00	72.90	37.70	35.20
2/12/2019	02:00	73.70	39.10	34.60
2/12/2019	03:00	74.40	40.10	34.30
2/12/2019	04:00	76.20	39.80	36.40
2/12/2019	05:00	75.20	34.00	41.20
2/12/2019	06:00	75.90	32.50	43.40

2/12/2019	07:00	74.50	24.40	50.10
2/12/2019	08:00	75.00	27.40	47.60
2/12/2019	09:00	74.30	51.00	23.30
2/12/2019	10:00	76.70	52.10	24.60
2/12/2019	11:00	76.90	37.50	39.40
2/12/2019	12:00	77.80	40.00	37.80
2/12/2019	13:00	76.70	39.60	37.10
2/12/2019	14:00	76.50	46.10	30.40
2/12/2019	15:00	76.60	37.70	38.90
2/12/2019	16:00	74.10	37.90	36.20
2/12/2019	17:00	74.90	32.10	42.80
2/12/2019	18:00	75.10	34.60	40.50
2/12/2019	19:00	75.60	34.10	41.50
2/12/2019	20:00	69.80	35.90	33.90
2/12/2019	21:00	70.10	45.00	25.10
2/12/2019	22:00	71.00	40.80	30.20
2/12/2019	23:00	70.20	39.10	31.10
3/12/2019	3/12/2019 00:00	68.10	45.00	23.10
3/12/2019	01:00	71.00	38.50	32.50
3/12/2019	02:00	69.60	42.00	27.60
3/12/2019	03:00	72.10	37.90	34.20
3/12/2019	04:00	72.40	39.20	33.20
3/12/2019	05:00	74.10	38.90	35.20
3/12/2019	06:00	74.90	37.60	37.30
3/12/2019	07:00	72.80	35.70	37.10
3/12/2019	08:00	62.40	36.50	25.90
3/12/2019	09:00	65.70	36.30	29.40
3/12/2019	10:00	69.74	43.30	26.44
3/12/2019	11:00	68.50	43.20	25.30
3/12/2019	12:00	68.70	43.60	25.10
3/12/2019	13:00	68.80	41.90	26.90
3/12/2019	14:00	62.00	35.30	26.70
3/12/2019	15:00	62.30	39.00	23.30
3/12/2019	16:00	63.60	38.00	25.60
3/12/2019	17:00	65.20	41.30	23.90
3/12/2019	18:00	64.70	40.60	24.10
3/12/2019	19:00	63.60	40.80	22.80
3/12/2019	20:00	63.90	40.50	23.40
3/12/2019	21:00	62.80	40.50	22.30

3/12/2019	22:00	62.60	40.10	22.50
3/12/2019	23:00	61.90	39.30	22.60
4/12/2019	4/12/2019 00:00	61.70	39.10	22.60
4/12/2019	01:00	61.90	39.80	22.10
4/12/2019	02:00	61.80	40.30	21.50
4/12/2019	03:00	61.90	39.70	22.20
4/12/2019	04:00	61.60	38.80	22.80
4/12/2019	05:00	61.50	39.60	21.90
4/12/2019	06:00	61.70	39.90	21.80
4/12/2019	07:00	61.30	39.40	21.90
4/12/2019	08:00	63.60	42.80	20.80
4/12/2019	09:00	61.90	42.30	19.60
4/12/2019	10:00	58.90	38.40	20.50
4/12/2019	11:00	59.10	36.70	22.40
4/12/2019	12:00	60.20	37.80	22.40
4/12/2019	13:00	58.40	37.90	20.50
4/12/2019	14:00	59.40	40.10	19.30
4/12/2019	15:00	58.10	35.20	22.90
4/12/2019	16:00	50.70	36.10	14.60
4/12/2019	17:00	51.60	38.70	12.90
4/12/2019	18:00	51.90	38.10	13.80
5/12/2019	5/12/2019 00:00			
5/12/2019	5/12/2019 07:00	55.30	47.40	7.90
5/12/2019	5/12/2019 08:00	56.20	48.90	7.30
5/12/2019	5/12/2019 09:00	59.10	49.90	9.20
5/12/2019	10:00	60.10	49.60	10.50
5/12/2019	11:00	59.60	50.10	9.50
5/12/2019	23:00	52.00	53.10	-1.10
6/12/2019	6/12/2019 00:00	53.20	53.90	-0.70
6/12/2019	01:00	53.00	54.60	-1.60
6/12/2019	02:00	53.60	54.90	-1.30
6/12/2019	03:00	53.00	54.60	-1.60
6/12/2019	04:00	52.70	54.80	-2.10
6/12/2019	05:00	53.10	55.10	-2.00
6/12/2019	06:00	52.90	53.60	-0.70
6/12/2019	07:00	52.60	53.90	-1.30
6/12/2019	08:00	52.80	53.20	-0.40
	MÁXIMO	77.80	55.10	50.10

*Tabla 30 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) –
Termocuplas 3 y 4, Tubo 2*

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
5/12/2019	23:00	69.70	26.60	43.10
6/12/2019	6/12/2019 00:00	70.10	29.30	40.80
6/12/2019	01:00	72.30	30.40	41.90
6/12/2019	02:00	72.60	31.60	41.00
6/12/2019	03:00	71.80	31.30	40.50
6/12/2019	04:00	72.60	32.20	40.40
6/12/2019	05:00	72.90	32.00	40.90
6/12/2019	06:00	73.50	31.90	41.60
6/12/2019	07:00	73.10	31.30	41.80
6/12/2019	08:00			
	MÁXIMO	73.50	32.20	43.10

Figura 31 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4

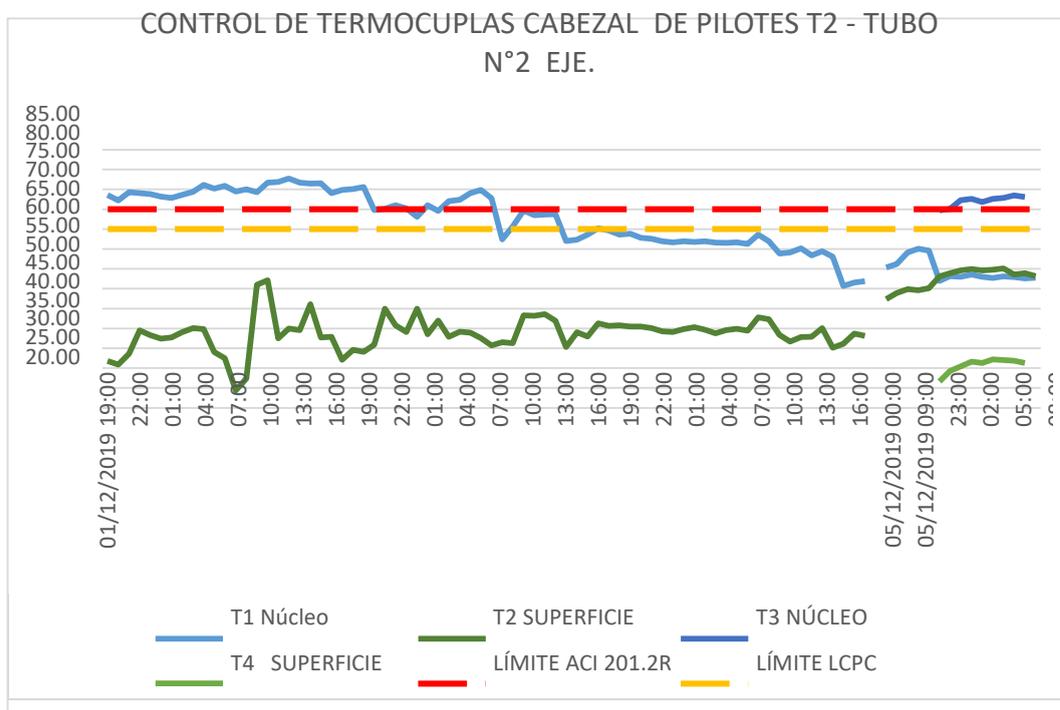
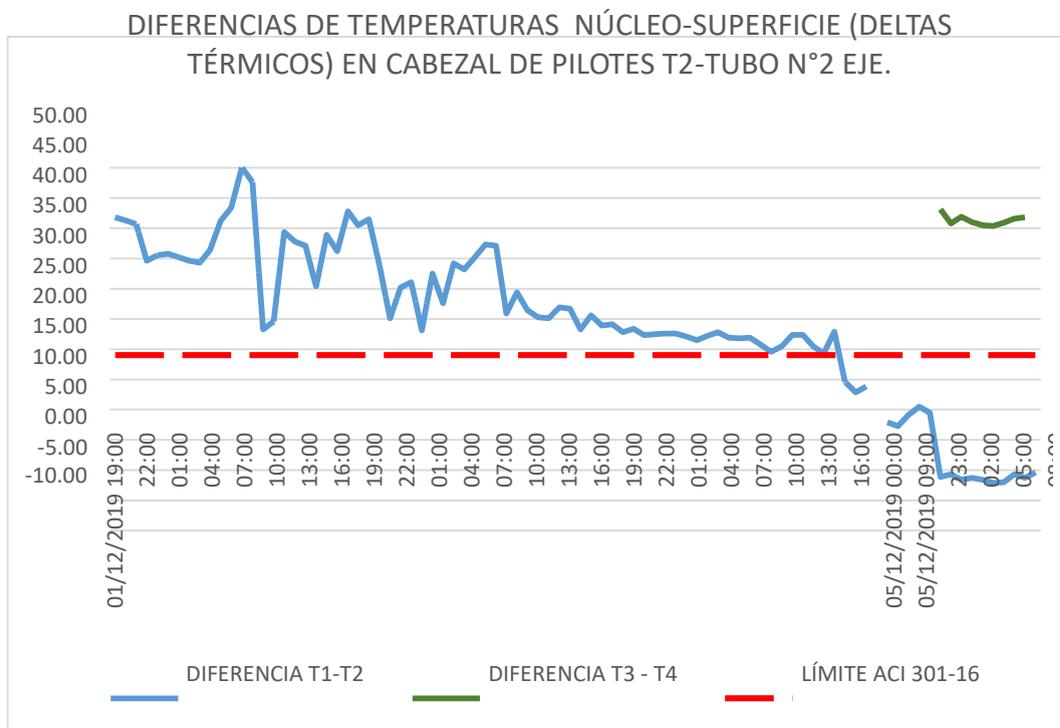


Figura 32 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 2, Termocuplas 1,2,3 y 4



Nota: Algunos deltas térmicos fueron negativos gracias al enfriamiento interno del elemento masivo por el sistema del bombeo de agua helada, causando que núcleo se enfrió más que la superficie.

Tabla 31 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 1 y 2, Tubo 3

FECHA	HORA	T1 NÚCLEO	T2 SUPERFICIE	DIFERENCIA T1 - T2
1/12/2019	1/12/2019 19:00	59.80	35.10	24.70
1/12/2019	20:00	59.50	34.60	24.90
1/12/2019	21:00	61.80	36.90	24.90
1/12/2019	22:00	68.90	37.90	31.00
1/12/2019	23:00	75.00	41.80	33.20
2/12/2019	2/12/2019 00:00	75.70	43.40	32.30
2/12/2019	01:00	76.00	43.50	32.50
2/12/2019	02:00	76.80	42.90	33.90
2/12/2019	03:00	77.20	48.60	28.60
2/12/2019	04:00	76.60	50.90	25.70
2/12/2019	05:00	75.30	54.90	20.40
2/12/2019	06:00	77.10	55.80	21.30
2/12/2019	07:00	74.60	53.10	21.50
2/12/2019	08:00	76.20	53.50	22.70
2/12/2019	09:00	79.10	52.80	26.30
2/12/2019	10:00	76.50	52.30	24.20
2/12/2019	11:00	69.80	54.90	14.90
2/12/2019	12:00	69.70	48.80	20.90
2/12/2019	13:00	70.90	55.10	15.80
2/12/2019	14:00	77.90	62.70	15.20
2/12/2019	15:00	76.20	54.90	21.30
2/12/2019	16:00	77.60	54.60	23.00
2/12/2019	17:00	77.10	49.50	27.60
2/12/2019	18:00	76.90	42.60	34.30
2/12/2019	19:00	79.30	53.90	25.40
3/12/2019	3/12/2019 00:00			
3/12/2019	3/12/2019 08:00	72.10	53.30	18.80
3/12/2019	3/12/2019 09:00	70.00	50.40	19.60

3/12/2019	10:00	73.00	53.60	19.40
3/12/2019	11:00	73.20	53.40	19.80
3/12/2019	12:00	71.80	52.00	19.80
3/12/2019	13:00	75.20	55.70	19.50
3/12/2019	14:00	68.60	46.10	22.50
3/12/2019	15:00	66.80	44.90	21.90
3/12/2019	16:00	66.70	48.00	18.70
3/12/2019	17:00	70.30	49.20	21.10
3/12/2019	18:00	68.50	45.50	23.00
3/12/2019	19:00	63.90	43.10	20.80
3/12/2019	20:00	63.60	42.90	20.70
3/12/2019	21:00	63.30	42.30	21.00
3/12/2019	22:00	63.10	41.90	21.20
3/12/2019	23:00	62.40	42.30	20.10
4/12/2019	4/12/2019 00:00	61.90	41.60	20.30
4/12/2019	01:00	62.60	41.90	20.70
4/12/2019	02:00	62.30	42.20	20.10
4/12/2019	03:00	62.60	42.00	20.60
4/12/2019	04:00	62.40	42.80	19.60
4/12/2019	05:00	61.60	41.60	20.00
4/12/2019	06:00	61.40	41.20	20.20
4/12/2019	07:00	61.70	41.80	19.90
4/12/2019	08:00	65.50	47.10	18.40
4/12/2019	09:00	66.50	46.90	19.60
4/12/2019	10:00	63.30	44.10	19.20
4/12/2019	11:00	64.10	41.70	22.40
4/12/2019	12:00	66.70	37.40	29.30
4/12/2019	13:00	62.60	42.20	20.40
4/12/2019	14:00	60.10	31.10	29.00
4/12/2019	15:00	60.70	35.40	25.30
4/12/2019	16:00	60.90	37.00	23.90
4/12/2019	17:00	55.70	45.20	10.50
4/12/2019	18:00	56.10	46.10	10.00
5/12/2019	5/12/2019 00:00			
5/12/2019	5/12/2019 07:00	61.00	46.10	14.90
5/12/2019	5/12/2019 08:00	61.80	47.00	14.80
5/12/2019	09:00	60.10	49.10	11.00
5/12/2019	10:00	62.70	50.10	12.60
5/12/2019	11:00	65.10	50.10	15.00

5/12/2019	23:00	52.00	55.40	-3.40
6/12/2019	6/12/2019 00:00	52.70	55.10	-2.40
6/12/2019	01:00	52.10	55.60	-3.50
6/12/2019	02:00	52.00	55.00	-3.00
6/12/2019	03:00	52.30	55.50	-3.20
6/12/2019	04:00	53.00	55.30	-2.30
6/12/2019	05:00	53.20	56.00	-2.80
6/12/2019	06:00	52.50	55.80	-3.30
6/12/2019	07:00	52.00	54.60	-2.60
	MÁXIMO	79.30	62.70	34.30

Tabla 32 – Registro de temperaturas en Cabezal de Pilotes de Torre 2 (°C) – Termocuplas 3 y 4, Tubo 3

FECHA	HORA	T3 NÚCLEO	T4 SUPERFICIE	DIFERENCIA T3 - T4
5/12/2019	23:00	71.80	33.70	38.10
6/12/2019	6/12/2019 00:00	73.20	33.90	39.30
6/12/2019	01:00	73.60	33.50	40.10
6/12/2019	02:00	74.00	33.30	40.70
6/12/2019	03:00	71.90	33.60	38.30
6/12/2019	04:00	73.60	34.20	39.40
6/12/2019	05:00	73.20	34.70	38.50
6/12/2019	06:00	71.90	33.90	38.00
6/12/2019	07:00	72.00	33.20	38.80
	MÁXIMO	74.00	34.70	40.70

Figura 33 – Control de temperaturas en termocuplas en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4

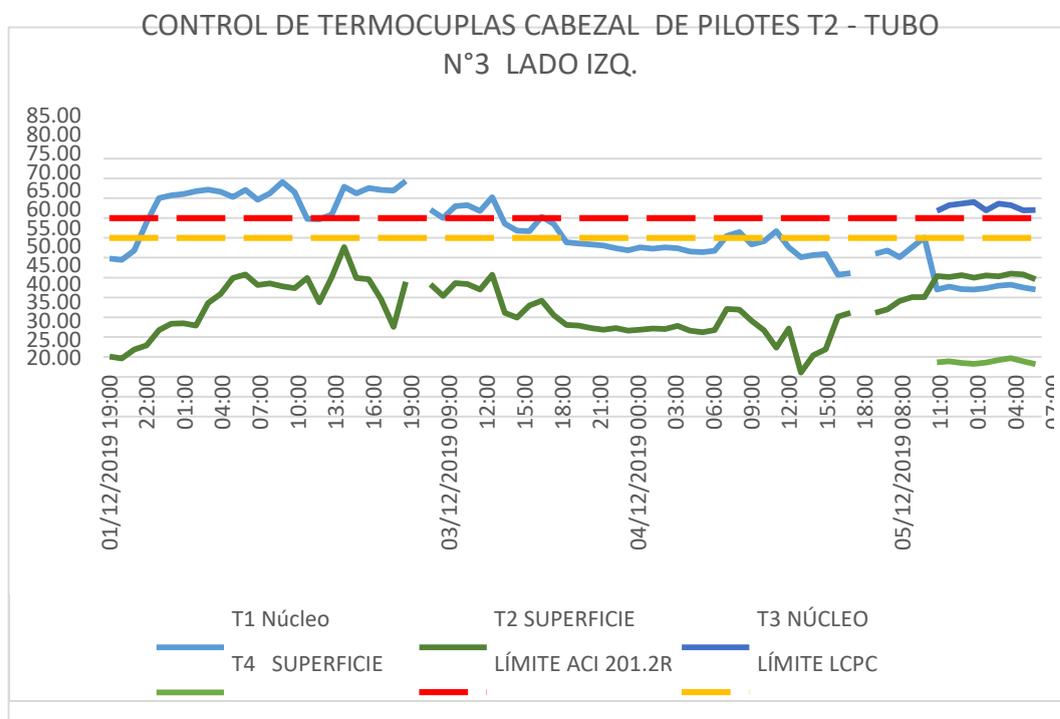
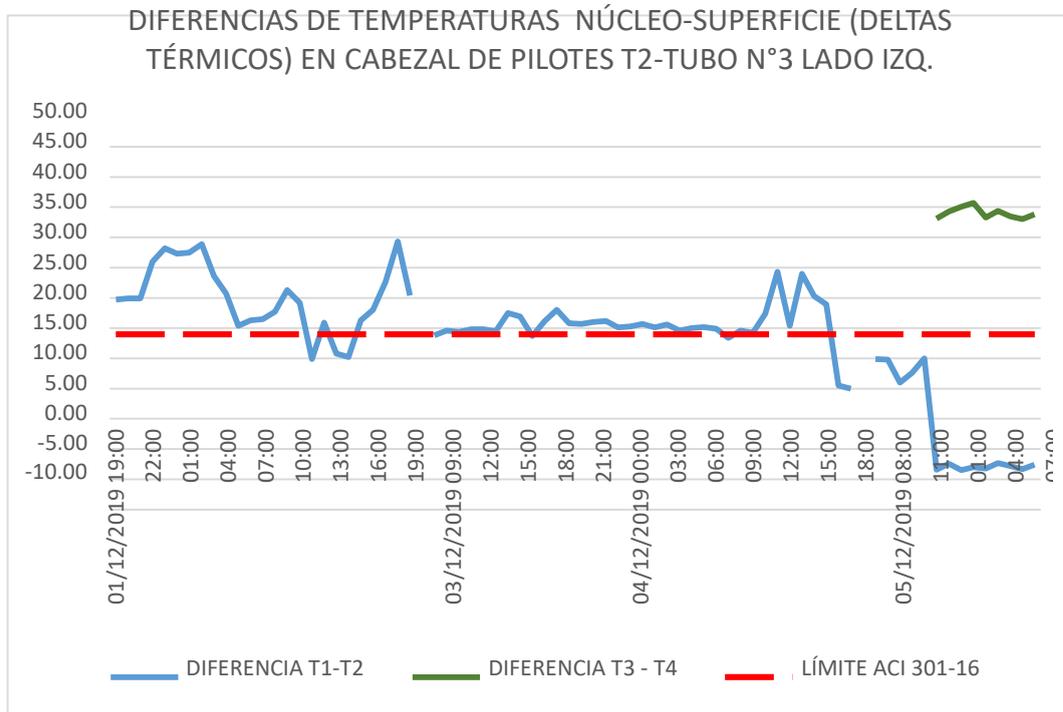


Figura 34 – Diferencias de temperaturas entre núcleo y superficie en Cabezal de Pilotes Torre 2, Tubo 3, Termocuplas 1,2,3 y 4



4.3.4.4. Resultados de las mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto.

Tabla 33 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto – Viga Cabezal de Pilar 27

Estructura	Ubicación	Resistencia Diseño f'c	Amb. °C	Concr. °C
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	25.3	27.4
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	25.9	27.7
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	26.0	27.2
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	26.4	27.5
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	26.7	27.1
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	26.9	27.3
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	27.3	27.3
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	28.3	27.5
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	29.0	28.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	29.6	28.4

VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	30.0	28.9
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	30.4	29.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	30.7	28.7
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	30.7	30.4
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.5	30.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.3	30.3
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.0	30.1
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.4	30.2
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.6	30.4
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.7	30.1
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.8	30.3
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.7	29.9
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.6	30.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.4	30.2
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.7	30.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.4	29.7
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.8	30.1
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.6	30.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	32.3	30.0
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.7	29.5
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	31.0	29.3
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	29.7	29.1
VIGA CABEZAL PILAR DE ANCLAJE	P27	350	27.6	29.5

Tabla 34 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto – Cabezal de Pilotes de Torre 1

Estructura	Ubicación	Resistencia Diseño f'c	Amb. °C	Concr. °C
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	30.7	30.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.6	29.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.6	28.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	28.0	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.8	28.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.4	29.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.1	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.1	28.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	27.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	27.9

CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.8	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.8	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.7	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.6	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.3	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.3	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.9	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.9	27.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.9	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.9	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.9	27.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.7	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.5	28.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.2	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	27.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.3	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.2	27.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.2	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.2	27.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.2	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.5	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.5	27.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	24.6	27.9

CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	28.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.4	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.4	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.1	28.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.0	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	28.7	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.5	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.0	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.0	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	28.4	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	28.3	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.8	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	30.5	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.5	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	30.2	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	29.5	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.4	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.9	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.9	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.8	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	26.9	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.2	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.1	29.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.0	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.1	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.3	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	28.0	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.9	27.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.6	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.6	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.5	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.4	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.2	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.2	28.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	27.2	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.8	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.9	28.6

CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.5	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.6	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.6	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.0	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	27.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.2	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T1	280	25.1	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.9	29.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	30.4	29.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	30.1	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.8	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	30.1	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	30.0	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.8	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.7	29.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.5	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.4	29.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.6	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.3	28.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	28.6	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.5	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.8	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.3	29.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.1	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	29.0	27.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.6	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	28.4	26.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	28.4	26.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.0	29.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.8	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.6	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.9	29.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.9	29.0

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.6	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.6	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.3	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.7	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.4	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	26.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	26.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	25.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	25.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	25.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	26.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.8	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	25.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.9	25.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	25.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.3	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	23.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.6	24.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	25.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.1	25.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.1	25.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	25.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.9	25.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	25.3

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.2	25.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.2	25.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.7	24.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.5	25.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.3	25.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.0	25.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.9	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.8	25.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.3	26.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.4	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.9	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.4	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.3	26.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.5	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.9	27.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.0	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.2	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.3	29.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.8	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.2	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.7	27.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.1	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.0	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.3	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.9	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.2	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.2	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.4	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.3	27.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.8	27.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.4	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.8	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.0	27.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.3	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.7	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.5	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.8	26.5

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.8	25.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.9	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.4	26.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.2	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	27.4	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.9	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.3	27.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.8	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.2	26.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.0	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.3	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.0	27.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.1	26.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.9	26.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.0	26.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.4	27.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.4	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.7	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.7	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.5	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.9	26.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	23.9	26.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	24.0	27.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.1	27.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.1	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.6	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.6	26.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.3	26.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	25.3	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.2	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T1	280	26.2	27.5

Tabla 35 – Registro de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto –
Cabezal de Pilotes de Torre 2

Estructura	Ubicación	Resistencia Diseño f'c	Amb. °C	Concr. °C
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	35.3	31.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	34.0	31.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.2	31.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	32.8	31.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	31.4	31.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	31.0	31.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	32.3	30.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	32.3	31.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	31.0	30.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	32.3	31.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	34.8	30.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	34.1	30.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.9	30.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.8	30.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.8	31.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	34.0	31.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.9	31.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	33.7	30.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	32.5	30.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.9	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.7	29.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.5	30.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.7	30.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.6	30.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.7	30.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.0	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.9	29.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.1	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.3	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.1	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.9	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.9	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.6	28.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.4	28.5

CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.7	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.1	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.0	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.1	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.7	28.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.5	28.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.9	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.7	29.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.6	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.7	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.8	29.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.5	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.7	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.6	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.8	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.3	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.4	28.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.8	28.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.1	27.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.6	27.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.5	27.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.3	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.6	27.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.7	27.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	28.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.9	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.4	27.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.2	28.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.8	27.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.4	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.6	27.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.4	27.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.3	27.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.3	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.2	27.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.8	27.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.2	27.7

CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	25.9	28.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.0	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	26.3	29.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.5	29.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.8	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.8	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.0	28.9
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.9	29.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.7	29.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.1	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.1	30.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.4	30.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.0	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.9	30.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.6	29.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.9	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.1	30.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.9	30.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.7	30.6
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.3	30.4
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.1	3.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.9	29.7
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.5	30.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.3	30.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	27.6	30.3
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	28.9	30.1
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.3	29.8
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	29.7	30.0
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	30.5	30.2
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	30.8	30.5
CABEZAL DE PILOTE 1ra ETAPA	T2	280	31.2	30.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.8	31.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.4	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.0	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.2	29.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.4	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.0	29.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.0	29.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.2	29.8

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.6	30.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	30.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	30.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.2	29.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.5	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.5	30.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	30.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.2	30.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.2	30.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	30.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.4	30.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	30.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.8	30.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.8	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.7	29.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.8	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.8	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.9	30.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.1	30.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.2	30.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	29.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.5	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.5	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.9	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.0	27.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	27.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.1	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.3	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	28.0

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.1	27.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.7	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.6	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.5	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.7	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.7	27.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.5	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.5	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.7	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.0	27.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.0	27.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.1	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.1	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.9	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.6	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.6	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.0	28.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.9	28.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.9	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.7	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.8	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.0	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.0	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.9	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.1	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.1	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.6	27.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.6	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.7	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.4	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.8	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.6	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.6	27.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.7	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.4	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.7	28.1

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.2	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.4	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.1	28.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.3	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	28.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.5	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.3	29.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.4	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.9	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.9	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	29.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.4	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.5	30.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.2	30.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.7	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.9	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.2	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.4	30.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.7	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.4	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.5	29.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.8	29.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.0	30.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.6	29.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	29.9	30.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	30.1	30.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.6	29.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.4	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	28.3	28.5
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.6	29.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.8	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.4	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.8	28.4
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.7	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	27.0	28.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.6	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.2	28.3
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.7	28.2
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.6	28.8

CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.1	28.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	24.9	28.7
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	26.5	28.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.1	27.8
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.2	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.0	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	24.9	27.9
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	24.8	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	24.9	28.0
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.0	28.1
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.2	27.6
CABEZAL DE PILOTE 2da ETAPA	T2	280	25.2	28.1

Tabla 36 – Temperaturas iniciales de mezclas de concreto

	Temperatura inicial máxima del concreto	Temperatura inicial mínima del concreto	Temperatura inicial promedio del concreto (tomada a partir de todas las lecturas)
Viga Cabezal de Pilar 27	30.4°C	27.1°C	29.1°C
Cabezal de Pilotes de Torre 1	30.7°C	23.3°C	26.0°C
Cabezal de Pilotes de Torre 2	31.8°C	27.0°C	30.3°C

4.4.4.5. Análisis estadístico de datos.

4.5.1. Resultados de las mediciones de temperaturas del concreto durante el fraguado.

Tabla 37 – Datos estadísticos de los resultados de mediciones de temperaturas del concreto durante el fraguado.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	DATO ESTADISTICO	TERMOCUPLA NUCLEO	TERMOCUPLA SUPERFICIE	DELTA TERMICO
VIGA CABEZAL DEL PILAR 27 TUBO 1	PROMEDIO	73.95	42.38	31.56
	DESVIACION ESTANDAR	5.76	5.69	4.63
VIGA CABEZAL DEL PILAR 27 TUBO 2	PROMEDIO	74.11	42.68	31.43
	DESVIACION ESTANDAR	5.17	5.41	3.57
VIGA CABEZAL DEL PILAR 27 TUBO 3	PROMEDIO	73.33	43.14	30.95
	DESVIACION ESTANDAR	8.16	5.29	4.57
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 1 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	58.30	55.48	2.82
	DESVIACION ESTANDAR	8.23	7.85	10.93
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 1 TERMOCUPLAS 3 Y 4	PROMEDIO	66.46	42.45	24.01
	DESVIACION ESTANDAR	4.81	4.97	2.27
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 2 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	59.63	53.56	6.07
	DESVIACION ESTANDAR	8.47	10.56	16.22
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 2 TERMOCUPLAS 3 Y 4	PROMEDIO	70.89	41.53	29.36
	DESVIACION ESTANDAR	4.72	5.11	2.48

CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 3 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	56.80	52.03	4.78
	DESVIACION ESTANDAR	8.56	9.64	15.48
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1 TUBO 3 TERMOCUPLAS 3 Y 4	PROMEDIO	66.81	39.23	27.58
	DESVIACION ESTANDAR	7.38	5.80	5.57
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 1 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	66.74	48.97	17.77
	DESVIACION ESTANDAR	7.12	9.41	8.09
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 1 TERMOCUPLAS 3 Y 4	PROMEDIO	66.46	42.45	24.01
	DESVIACION ESTANDAR	4.81	4.97	2.27
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 2 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	59.63	53.56	6.07
	DESVIACION ESTANDAR	8.47	10.56	16.22
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 2 TERMOCUPLAS 3 Y 4	PROMEDIO	70.89	41.53	29.36
	DESVIACION ESTANDAR	4.72	5.11	2.48
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 3 TERMOCUPLAS 1 Y 2	PROMEDIO	56.80	52.03	4.78
	DESVIACION ESTANDAR	8.56	9.64	15.48
CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2 TUBO 3	PROMEDIO	66.81	39.23	27.58
	DESVIACION ESTANDAR	7.38	5.80	5.57

TERMOCUPLAS 3 Y 4				
----------------------	--	--	--	--

4.5.2. Resultados de las mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas de concreto.

Tabla 38 – Datos estadísticos de los resultados de mediciones de temperaturas iniciales de las mezclas del concreto.

DATOS ESTADISTICOS	VIGA DE CABEZAL DE PILAR 27	CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 1	CABEZAL DE PILOTES DE TORRE 2
PROMEDIO	29.12	27.54	28.98
DESVIACION ESTANDAR	1.16	1.20	1.96

CAPITULO V. Discusión, conclusiones y recomendaciones.

5.1. Discusión.

En base de resultados obtenidos podemos afirmar, que hubo fallos en el proceso de mantener temperaturas máximas y deltas térmicos dentro de los rangos normados en Viga Cabezal de Pilar 27 y Cabezales de Pilotes de Torres 1 y 2. Según **(Rodríguez Cabarcas, 2019) en la tesis EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO MASIVO: ESTUDIO NUEVO PUENTE PUMAREJO (1)** “(...) *realización de ensayos en los concretos masivos radica su importancia en la determinación de la temperatura máxima del elemento. Con esto se minimiza las fisuras y agrietamientos, lo que permite demostrar el objetivo y finalidad del estudio realizado. Además, ayuda a determinar el porcentaje de hielo, al inicio no se instrumentaba, no se conocía el porcentaje de hielo, es decir; el requerido en el diseño de la mezcla del concreto.*” Así como en caso del Nuevo Puente Pumarejo al inicio no se conocía el porcentaje de hielo requerido para la preparación de mezclas. En obra de Puente Nanay se usó solo la cantidad de hielo, para no pasar el límite universal de temperatura de mezcla, que es 32°C. En la Tabla 36 podemos apreciar las temperaturas mínimas, máximas y promedio que se usaron en elementos masivos de nuestra investigación. Las temperaturas promedio oscilaban en 29.1°C en Viga de Cabezal de Pilar 27, 26.0°C en Cabezal de Pilotes de Torre 1 y 30.3°C en Cabezal de Pilotes de Torre 2.

No se siguió la recomendación del ACI 207.1R-05 (5) de no usar el cemento Tipo I o GU. Las medidas para contrarrestar problemas de calor liberado por estos cementos no parecen ser suficientes. El sistema de tuberías de enfriamiento por bombeo del agua helada solo se usó en Cabezales de Pilotes de Torres y parecen haber ayudado solo en parte. También el retardante de fragua no ayudo suficiente.

A continuación, podemos apreciar tablas donde se resume las temperaturas máximas y deltas térmicos máximos y cuanto difirieron con normas ACI y LCPC.

Tabla 39 – Temperaturas y deltas térmicos máximos registrados (°C)

Temperaturas y deltas térmicos máximos registrados °C				
Termocuplas		T1	T2	Delta Térmico
		Núcleo	Superficie	
Viga Cabezal de Pilar 27	Tubo 1	81.2	54.9	37.1
	Tubo 2	80.9	54.2	38.4
	Tubo 3	79.2	52.5	36.5
Límite según ACI		70	70	19
Límite según LCPC		85	85	19

Termocuplas		T1	T2	Delta Térmico	T3	T4	Delta Térmico
		Núcleo	Superficie		Núcleo	Superficie	
Cabezal de Pilotes de Torre 1	Tubo 1	75.5	69.9	32	77.3	53.3	29.3
	Tubo 2	76.2	65.64	33.9	78.2	53.9	33.7
	Tubo 3	72.4	62.1	32.9	76.8	57.5	35.4
Cabezal de Pilotes de Torre 2	Tubo 1	79.5	67.7	31.2	73.5	32.2	43.1
	Tubo 2	77.8	55.1	50.1	73.5	32.2	43.1
	Tubo 3	79.3	62.7	34.3	74	34.7	40.7
Límite según ACI		70	70	19	70	70	19
Límite según LCPC		65	65	19	65	65	19

Tabla 40 – Cumplimientos de las normas ACI (en rojo diferencia entre valor máximo registrado y límite normado) (°C)

Cumplimiento de normas ACI (en rojo diferencia entre valor máximo registrado y el límite)				
Termocuplas		T1	T2	Delta Térmico
		Núcleo	Superficie	
Viga Cabezal de Pilar 27	Tubo 1	11.2	CUMPLE	18.1
	Tubo 2	10.9	CUMPLE	19.4
	Tubo 3	9.2	CUMPLE	17.5

Termocuplas		T1	T2	Delta Térmico	T3	T4	Delta Térmico
		Núcleo	Superficie		Núcleo	Superficie	
Cabezal de Pilotes de Torre 1	Tubo 1	5.5	CUMPLE	13	7.3	CUMPLE	10.3
	Tubo 2	6.2	CUMPLE	14.9	8.2	CUMPLE	14.7
	Tubo 3	2.4	CUMPLE	13.9	6.8	CUMPLE	16.4
Cabezal de Pilotes de Torre 2	Tubo 1	9.5	CUMPLE	12.2	3.5	CUMPLE	24.1
	Tubo 2	7.8	CUMPLE	31.1	3.5	CUMPLE	24.1
	Tubo 3	9.3	CUMPLE	15.3	4.0	CUMPLE	21.7

Tabla 41 – Cumplimientos de las normas LCPC (en rojo diferencia entre valor máximo registrado y limite normado) (°C)

Cumplimiento de normas LCPC (en rojo diferencia entre valor registrado y limite)			
Termocuplas		T1	T2
		Nucleo	Superficie
Viga Cabezal de pilar 27	Tubo 1	CUMPLE	CUMPLE
	Tubo 2	CUMPLE	CUMPLE
	Tubo 3	CUMPLE	CUMPLE

Termocuplas		T1	T2	T3	T4
		Nucleo	Superficie	Nucleo	Superficie
Cabezal de Pilotes de Torre 1	Tubo 1	10.5	4.9	12.3	CUMPLE
	Tubo 2	11.2	0.64	13.2	CUMPLE
	Tubo 3	7.4	CUMPLE	11.8	CUMPLE
Cabezal de Pilotes de Torre 2	Tubo 1	14.5	2.7	8.5	CUMPLE
	Tubo 2	12.8	CUMPLE	8.5	CUMPLE
	Tubo 3	14.3	CUMPLE	9.0	CUMPLE

A pesar de todo, nosotros como trabajadores no presenciamos problemas con agrietamientos y fisuraciones graves. La supervisión dio su visto bueno y la obra se entregó sin mayor problema. Posiblemente las exigencias dentro de las normas ACI y LCPC usan límites muy conservadores, que garantizan con alto valor de seguridad, el cumplimiento de no aparecer los problemas de RSI y fisuramientos por diferencias térmicas entre núcleo y superficie. Esto explica porque, a pesar que en la obra se pasó varios límites térmicos, las estructuras no resultaron afectados.

5.2. Conclusiones.

Referente a apariciones de temperaturas que podrían causar problemas de RSI, en todos elementos investigados, se dieron valores que pasaron los límites establecidos en ACI 201.2R (12) o LCPC (18). Los deltas térmicos entre los núcleos y superficies, prácticamente siempre superaron el límite de 19 °C del ACI 301-16 (6) en varios momentos del fraguado.

En la Viga Cabezal de Pilar 27 la temperatura máxima alcanzo 81.2°C. Superó el límite de 70°C del ACI 201.2R por 11.2°C, pero estuvo dentro del rango del límite de 85°C del LCPC, por el hecho que la Viga no estará expuesta a agua siendo incluso tapada de lluvia por misma estructura del puente. Gracias a ello los elementos de acero estarían protegidas a pesar de posibilidad de aparición de fisuras, causadas por RSI. En este caso LCPC es menos conservador.

En el Cabezal de Pilotes de Torre 1 la temperatura máxima alcanzo 78.2°C. Superó el límite de 70°C del ACI 201.2R por 8.2°C. Superó el límite de 65°C del LCPC por 13.2°C. Por el hecho que el Cabezal de Pilotes **SI** estará expuesto al agua constantemente estando bajo nivel del Rio Nanay, en este caso LCPC es más conservador. Los elementos de acero podrían estar expuestos al agua que filtre a través de fisuras o grietas producidas por RSI.

En el Cabezal de Pilotes de Torre 2 la temperatura máxima alcanzo 79.5°C. Superó el límite de 70°C del ACI 201.2R por 9.5°C. Supero el límite de 65°C del LCPC por 14.5°C. Por el hecho que el Cabezal de Pilotes **SI** estará expuesto al agua constantemente estando bajo nivel del Rio Nanay, en este caso LCPC es más conservador. Los elementos de acero podrían estar expuestos al agua que filtre a través de fisuras o grietas producidas por RSI.

Referente a apariciones de Deltas Térmicos, es decir, las diferencias entre temperaturas dentro del núcleo y superficie del elemento masivo se obtuvo siguientes valores máximos:

- En la Viga Cabezal del Pilar se alcanzó 38.4°C, superando el límite por 19.4°C
- En el Cabezal de Pilotes de Torre 1 se alcanzó 35.4°C, superando el límite por 16.4°C
- En el Cabezal de Pilotes de Torre 2 se alcanzó 50.1°C, superando el límite por 31.1°C

El uso del cemento Tipo I no parece haber encontrado medidas adecuadas para contrarrestar su alto calor de hidratación inicial. Hay que tener en cuenta que cantidad de cemento que se usó, fue bastante elevada, 395 kg/m³ (9.29 bolsas/m³) para concreto de 280 en Cabezales de Pilotes de Torres e igual 395 kg/m³ (9.29 bolsas/m³) para concreto de 350 de Viga Cabezal de Pilar 27. El uso de cementos con bajo o moderado calor de hidratación, con más seguridad hubiera ayudado en controlar las temperaturas.

Las temperaturas iniciales del concreto fresco solo fueron controladas para no superar los 32°C, como en todos los concretos de la obra. Definitivamente el mayor uso del hielo dentro de preparaciones de mezcla del concreto, habría ayudado a controlar las temperaturas. No se hizo el diseño de mezcla enfocado en encontrar la cantidad de hielo adecuado.

A pesar de aparentes problemas, no hubo evidencia de aparición de RSI, ni fisuración perjudicial por elevados deltas térmicos. La supervisión por criterio ingenieril no observó problemas con agrietamiento ni fisuración en los elementos masivos. Nosotros como trabajadores de obra, tampoco observamos ningún problema mencionado. Todo indica que los límites normativos son suficientemente conservadores, para evitar apariciones de fallas por recalentamiento de concreto en estos casos particulares.

5.3. Recomendaciones.

1. Hacer diseños exhaustivos de las mezclas de elementos masivos en obras futuras, especialmente en climas tan cálidos como en la ciudad de Iquitos. Calcular la cantidad de hielo y temperaturas iniciales adecuadas para prevenir problemas de calor de hidratación.
2. Usar cementos de bajo o moderado calor de hidratación en elementos masivos, o en caso del uso del cemento Tipo I seguir lineamientos de adecuamiento de las normativas ACI o LCPC.
3. Se recomienda realizar investigaciones en laboratorio en condiciones del clima amazónico sobre la emisión del calor del concreto con altos valores del cemento muy común en Iquitos y hacer investigaciones comparativas entre los varios tipos de cementos.
4. Tener en vigilancia durante su puesta de servicio a los elementos masivos del Puente Nanay, sobre todo de los pilares de anclaje 27 y 28, porque tienen la ventaja de ser expuestas a la vista.
5. Se recomienda seguir muy estrictamente los lineamientos de las normas ACI o LCPC, para evitar cualquier eventualidad de fallas estructurales de los elementos masivos, que podrían resultar catastróficas, poniendo en riesgo vidas humanas o costar cuantiosas cantidades de recursos para subsanar fallas resultantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Zeña Vela, Marco Andrés.** *ESTUDIO TERMODINÁMICO TEÓRICO - PRÁCTICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE VACIADOS DE CONCRETO MASIVO A MÁS DE 4 700 m.s.n.m EN LA SIERRA DEL PERÚ.* Lima, Perú : Pontífica Universidad Católica del Perú, 2015.
2. **Rodriguez Cabarcas, Diego Alejandro.** *EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO MASIVO: ESTUDIO NUEVO PUENTE PUMAREJO.* Barranquilla, Colombia : Tesis, 2019.
3. **Pérez Cadenillas, Dilmer.** *DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA USO MASIVO.* Tarapoto, Perú : Universidad Nacional de San Martín, 2019.
4. *ANÁLISIS TÉRMICO DE BLOQUES DE HORMIGÓN MASIVO UTILIZANDO UN MODELO EN DIFERENCIAS FINITAS.* **Vargas, Luisa, Albarracín, Carlos and Quintana, María.** San Miguel de Tucumán, Argentina : Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2018, Vol. XXXVI.
5. **Peña Torres, Pablo Jhoel.** *RECOMENDACIONES TECNICAS PARA VACIADOS DE CONCRETO MASIVO.* Lima, Perú : SENCICO, 2020.
6. **ACI, 116.** *Terminología del Cemento y del Hormigón.* s.l. : American Concrete Institute.
7. **ACI, 207.1R-05.** *Guide to Mass Concrete.* s.l. : American Concrete Institute, 2005.
8. **ACI, 211.1R-91.** *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.* s.l. : American Concrete Institute, 1991.

9. **ACI, 301-16.** *Specifications for Structural Concrete.* s.l. : American Concrete Institute, 2016.
10. **Rivva, Enrique.** *Materiales para el concreto.* Lima : Instituto de la Construcción y Gerencia, 2008.
11. **ACI, 207.2R-07.** *Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass.* s.l. : American Concrete Institute, 2007.
12. **(1988), U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION.** *Concrete manual. A water resources technical publication.* Denver : s.n., 1988.
13. **Gajda, J. and Vangeem, E.** *Engineering Mass Concrete Structures.* 2006.
14. **ACI, 201.2R-16.** *Guide to Durable Concrete.* s.l. : American Concrete Institute, 2016.
15. **Folliard, K. J.** *Prediction Model for Concrete Behaviour: Final Raport.* 2008.
16. **Divet, L. and Pavoine, A.** *Delayed Ettringite Formation in Massive Concrete Structures : an Account of some Studies of Degraded Bridges.* 2002.
17. **Carde, C.** *Pathologie L'ettringite.* 2007.
18. **EUROCODE-2.** *Design of concrete structures - Part 3 : Liquid retaining and containment structures.* s.l. : EUROCODE, 2006.
19. **Bobko, C. P., et al.** *Crack Free Mass Concrete Footings on Bridges in Coastal Environments.* 2014.

20. **LCPC.** *Méthode d'essai des lpc n°66 - Réactivité d'un béton vis-à-vis d'une réaction sulfatique interne.* s.l. : Laboratoire Central des ponts et chaussées, 2007.
21. **CIM-béton.** *Guide de Prescription des ciments pour constructions durables - Cas des bétons coulés en place.*
22. **EUCO.** *Guía de especificación de concreto masivo.* s.l. : Euclid Chemical Toxement, 2020.
23. **Jack Lopez Ingenieros, SAC.** *Informe final - Puente Nanay y Viaductos de Acceso - Memoria Descriptiva.* 2014.
24. **Ugarte, Rodrigo and Bayón, Patricia.** *Informe de Validación de Diseños de Mezclas de Concreto para la Obra Puente Nanay - Iquitos.* Iquitos : s.n., 2018.
25. **SENCICO.** *Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E 0.60 Concreto Armado.* Lima : s.n., 2020.
26. **ACI, 207.3R-94.** *Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for.* s.l. : American Concrete Institute, 1994.
27. **ACI 211.1-91, ACI.** *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight and Mass Concrete.* 1991.

ANEXOS

ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “EVALUACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO MASIVO DE LA OBRA DEL PUENTE NANAY, IQUITOS - 2022”.					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>Problema General</p> <p>¿Cuáles fueron los comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>1. ¿Cuáles fueron deltas térmicos (diferencias entre temperaturas de los núcleos y superficies) del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Conocer los comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>1. Determinar deltas térmicos (diferencias entre temperaturas de los núcleos y superficies) del concreto masivo durante su</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>H : “Comportamientos térmicos de los elementos estructurales del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay fueron favorables y cumplieron las normativas pertinentes”</p>	<p>Variables independientes X:</p> <p>X₁: composición del concreto fresco</p> <p>X₂: volumen y forma de la estructura del concreto masivo</p> <p>X₃: categoría de obra, clase de exposición de la estructura</p>	<p>Indicadores X</p> <p>- Tipos y variedades de los cementos, agregados y aditivos</p> <p>- Peso y/o volumen del material por metro cúbico del concreto (kilogramos y/o litros por metro cúbico)</p> <p>- Volumen en metros cúbicos</p> <p>- Superficie externa en metros cuadrados</p> <p>simbología (ver tablas 5, 6 y 7)</p>	<p>Tipo de Investigación: Cuantitativa Diseño de Investigación: No Experimental</p> <p>Esquema:</p> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 10px auto;"> M O </div> <p>Donde:</p> <p>M: Muestra</p> <p>O: Observaciones</p>

<p>2 en la obra del Puente Nanay?</p> <p>2. ¿Cuáles fueron temperaturas máximas del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?</p> <p>3. ¿Se cumplen las exigencias de las normas ACI y LCPC con respecto a las condiciones térmicas de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay?</p>	<p>fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.</p> <p>2. Determinar temperaturas máximas del concreto masivo durante su fraguado en las estructuras de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.</p> <p>3. Determinar si se cumplen las exigencias de las normas ACI y LCPC con respecto a las condiciones térmicas de la Viga Cabezal del Pilar 27 y Zapatas de Torres 1 y 2 en la obra del Puente Nanay.</p>		<p>Variable dependiente Y:</p> <p>Y₁: Temperatura del concreto fresco durante fraguado dentro del núcleo y en la superficie de la estructura masiva</p> <p>Y₂: Cumplimiento de los criterios de los límites de temperatura.</p>	<p>Indicadores Y</p> <p>- Temperatura en grados Celsius</p> <p>- Valor lógico: SI CUMPLE o NO CUMPLE</p>	
--	---	--	---	--	--

PANEL FOTOGRAFICO



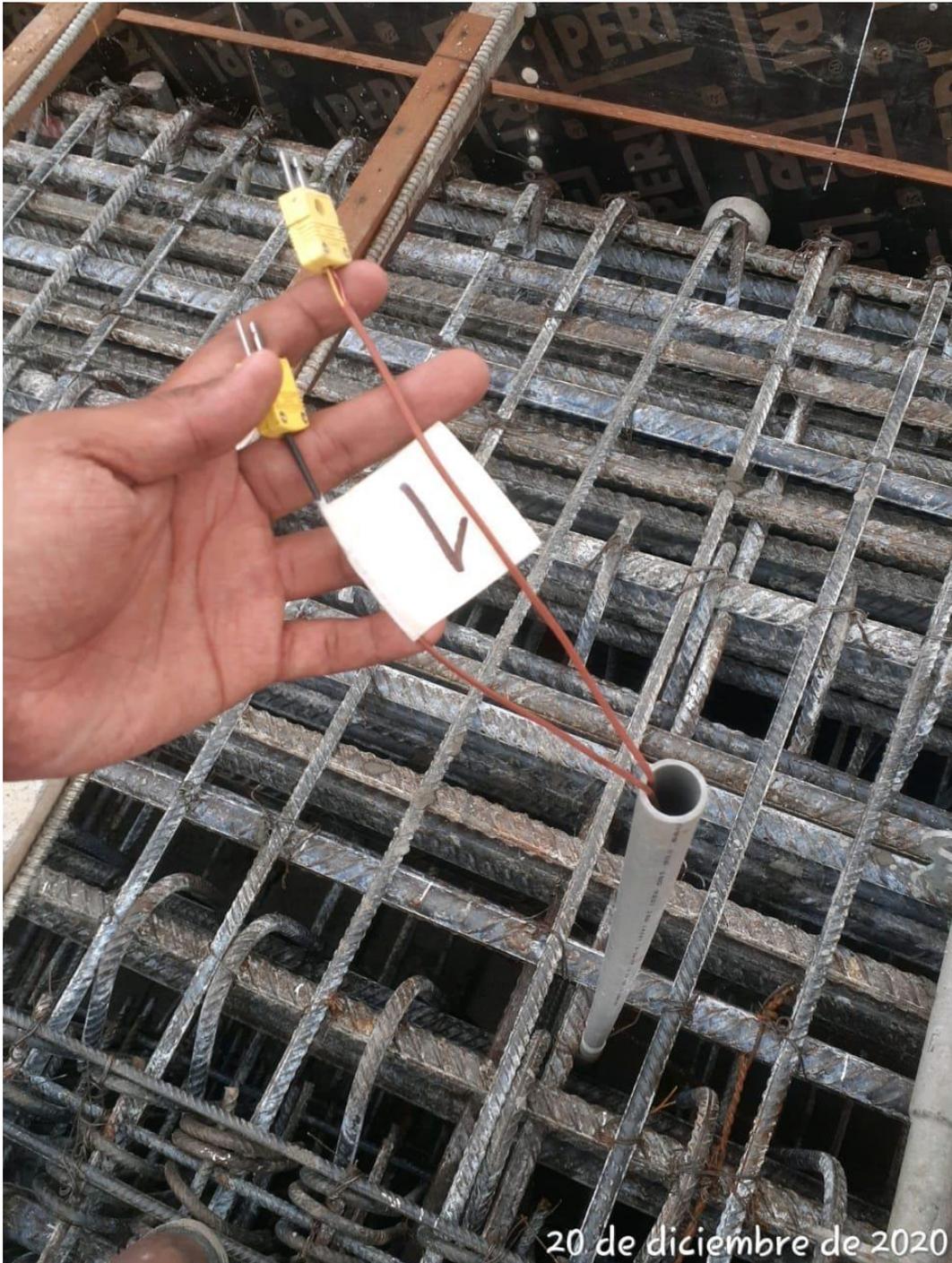
Vista a las construcciones de Pilar 27 y Torres 1 y 2



Medición de temperatura en la Viga de Cabezal de Pilar 27



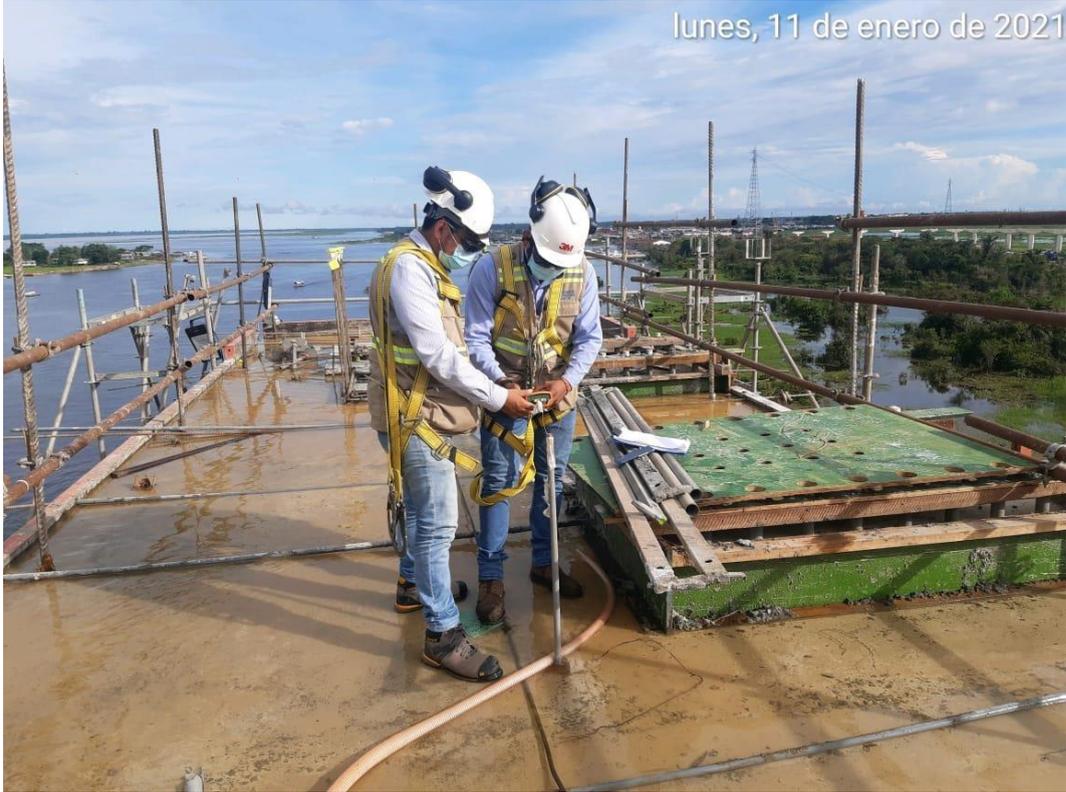
Aparato de visualización de temperatura (lector de temperatura)



Cables de conexión con lector de temperaturas a través del Tubo 1



Medición de la temperatura del concreto fresco



Medición de la temperatura del concreto en la Viga Cabezal de Pilar 27



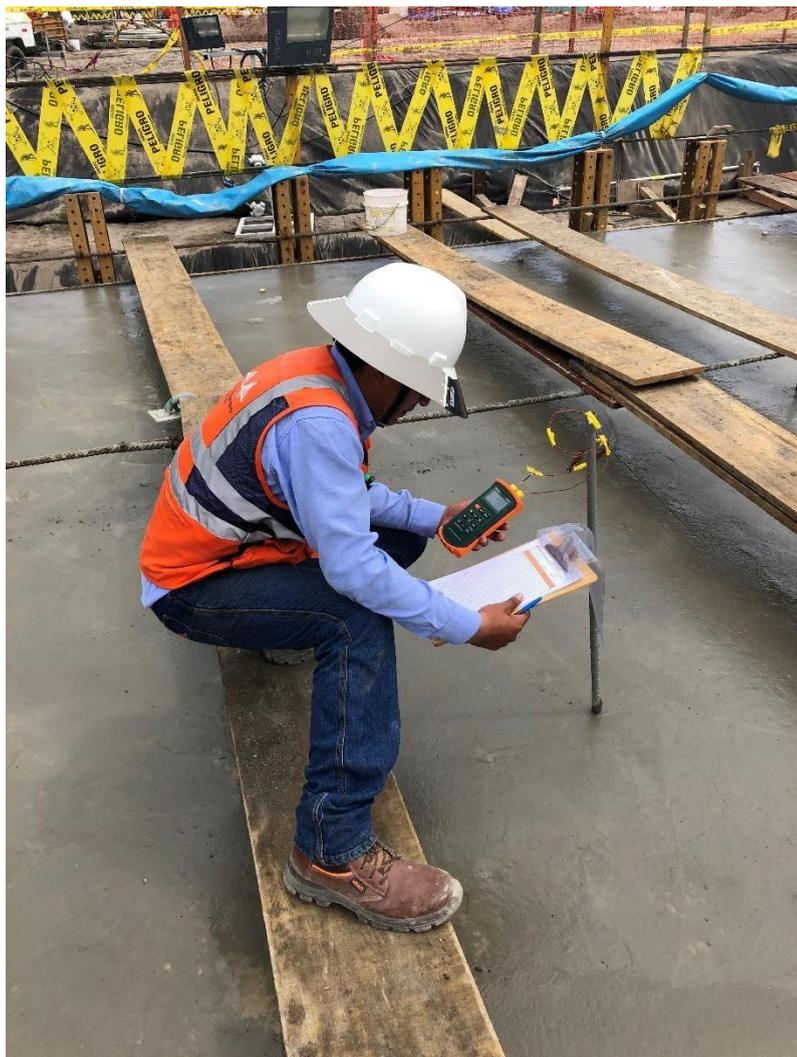
Medición de la temperatura del concreto en la Viga Cabezal de Pilar 27



Medición de la temperatura del concreto en el Cabezal de Pilotes de Torre



Vista a la construcción del Pilar 27



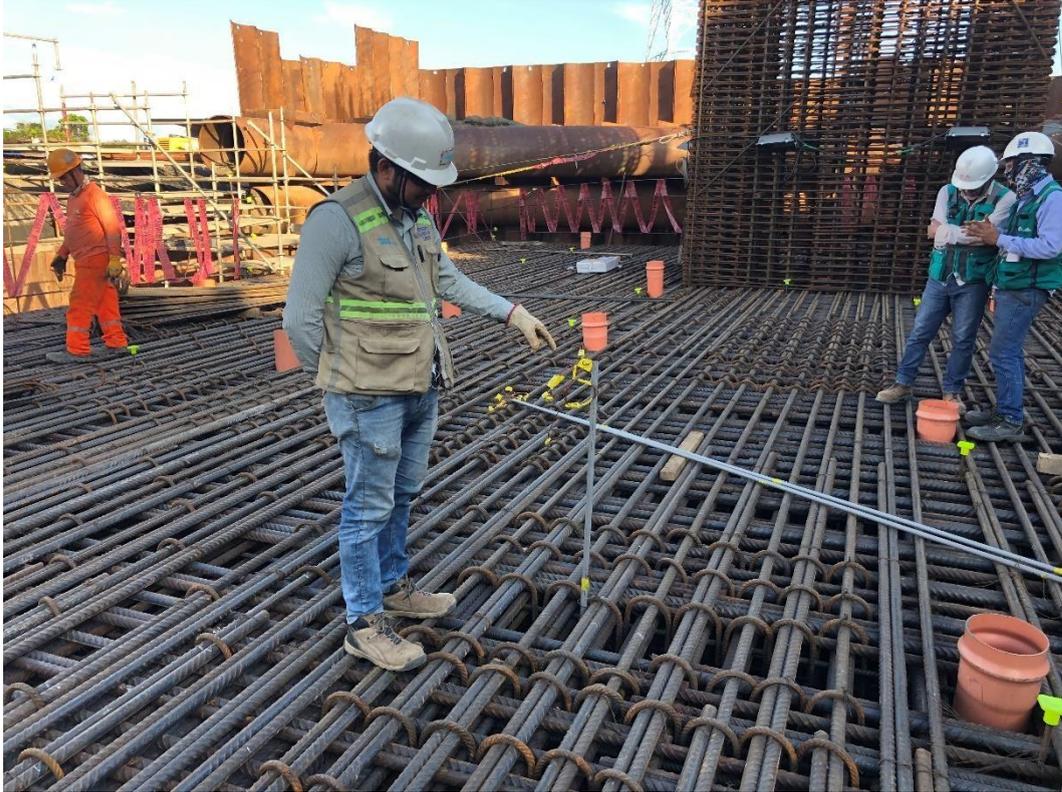
Medición de la temperatura del concreto en el Cabezal de Pilotes de Torre

2



Medición de la temperatura del concreto en el Cabezal de Pilotes de Torre

2



Colocación del tubo de medición de temperaturas en el Cabezal de Pilotes de Torre 1



Medición de la temperatura del agua de enfriamiento del Cabezal de Pilotes de Torre 1



Medición de temperatura del Cabezal de Pilotes de Torre 1 Tubo 1



Medición de la temperatura del agua de enfriamiento del Cabezal de Pilotes de Torre 1



Vista a Cabezal de Pilotes de Pilar 27