

## **1.1.- Generalidades**

El pavimento rígido es una losa de concreto de gran rigidez, que puede estar apoyada en una capa granular o en la sub rasante, transmitiendo al suelo las cargas ejercidas sobre la misma.

Muy importante en cuanto a obras viales se trata, más aun cuando en estos tiempos el gradiente térmico incrementó de manera considerable afectando los pavimentos rígidos en cuanto a su comportamiento de alabeo, contracción y dilatación he ahí la importancia de su estudio para tiempos actuales.

Los pavimentos están sometidos a la acción del medio ambiente y a las cargas de tránsito se diseñan para ciertas acciones de cargas que va a sufrir, sin embargo en la actualidad viene a ser de una importancia mayor el comportamiento del pavimento cuando se trata de contracción, dilatación y alabeo por las condiciones que presenta el ambiente al que está sometido dicho pavimento.

Durante el día cuando la temperatura en la parte superior de la losa de pavimento es mayor que la de la inferior, las fibras superiores tienden a expandirse con respecto al eje neutro, mientras que, las fibras inferiores tiende a comprimirse; sin embargo, el peso de la losa restringe la expansión y contracción, generando esfuerzos de compresión en la mitad superior de la losa y de tensión en la mitad inferior.

En la noche el fenómeno es inverso ya que la temperatura de la parte superior de la losa es menor a la inferior, lo que genera esfuerzos de tracción en la fibra superior y de compresión en la inferior.

En la práctica cotidiana de la ingeniería de pavimentos el efecto del alabeo térmico suele omitirse, entre otras razones, por las siguientes (Huang, 1993):

- Se considera que las juntas y pasadores transversales alivian y transmiten los esfuerzos debidos al alabeo, ya que éstos se disipan cuando el concreto se fractura.
- Bajo el principio de fatiga no se considera práctico combinar los esfuerzos generados por las cargas y el alabeo; puesto que los generados por las cargas durante el período de diseño son ampliamente mayores que los debidos al alabeo térmico.
- Se considera que existe compensación entre los esfuerzos generados en el día con los de la noche.

El comportamiento del pavimento rígido ante la variación de la temperatura trae consigo los efectos de alabeo, contracción y dilatación, que deben ser estudiados, para determinar la magnitud de las deformaciones resultantes de dichos esfuerzos, pues debido a ello surgen consecuencias perjudiciales que afectan la resistencia del pavimento y su vida útil.

La temperatura varía durante el día llegando a una extrema alta y durante la noche a una mínima, las losas del pavimento rígido que como todo cuerpo en la tierra se ve afectado por esta variación; reaccionando ante ésta con una dilatación cuando la temperatura asciende hasta llegar a una máxima y lo contrario ocurre cuando la temperatura desciende hasta una mínima las losas se contraen.

Además del alabeo que se produce por el gradiente térmico que la losa adquiere con la temperatura, que siendo ésta variante también lo es la reacción de la losa y por ello

la deformación que deja el alabeo, este último cuando las llantas de los vehículos pasan sobre él se producen fisuras de las esquinas de la losas, entre otras muchas consecuencias que dichos esfuerzos dejan, afectando al pavimento rígido; he ahí la importancia de tener un conocimiento claro del comportamiento del pavimento rígido en cuanto a sus efectos de alabeo, contracción y dilatación.

### **1.2.- Problema**

Todos los pavimentos rígidos por efectos de la temperatura están sujetos a esfuerzos de contracción, dilatación y alabeo que provocan fisuración prematura si es que no es tomado en cuenta en la etapa de diseño, construcción y mantenimiento, el pavimento se deteriora rápidamente.

¿Cuáles son las acciones que se deberán realizar para evitar la fisuración en el pavimento rígido por efectos de contracción, dilatación y alabeo?

### **1.3.- Justificación**

En los pavimentos rígidos frecuentemente se presentan problemas en fisuras y agrietamiento debido a tres factores fundamentales: la contracción la dilatación y alabeo térmico, pese a que estos aspectos están ampliamente explicados en la bibliografía especializada no siempre son considerados en la etapa de diseño y en la ejecución de los pavimentos rígidos, por ello es importante realizar investigaciones complementarias que permitan tener los elementos técnicos más adecuados que permitan tomar decisiones en la ejecución de los pavimentos rígidos.

Al ser aspectos que necesariamente se presentan en las losas de pavimento rígido es posible la simulación de estos factores en laboratorio de manera que se puedan variar condiciones de temperatura en el mezclado y curado del hormigón que incidirá directamente en los aspectos de estudio de contracción dilatación y alabeo térmico.

Sera un aporte académico porque el marco de estudio de pavimentos rígidos a nivel de pregrado no permite ver estas aplicaciones que necesariamente tienen que ser investigaciones en forma específica.

Los resultados de este análisis se aplicarán en los pavimentos rígidos en el momento de su diseño, construcción y mantenimiento, como datos reales que garanticen su confiabilidad en su uso.

Siendo viable la aplicación de este proyecto en los pavimentos rígidos genera un avance a nivel práctico investigativo en el momento que se canalice una visión de proyecto con losas de pavimento rígido.

#### **1.4.- Objetivos**

##### **1.4.1.- Objetivo general**

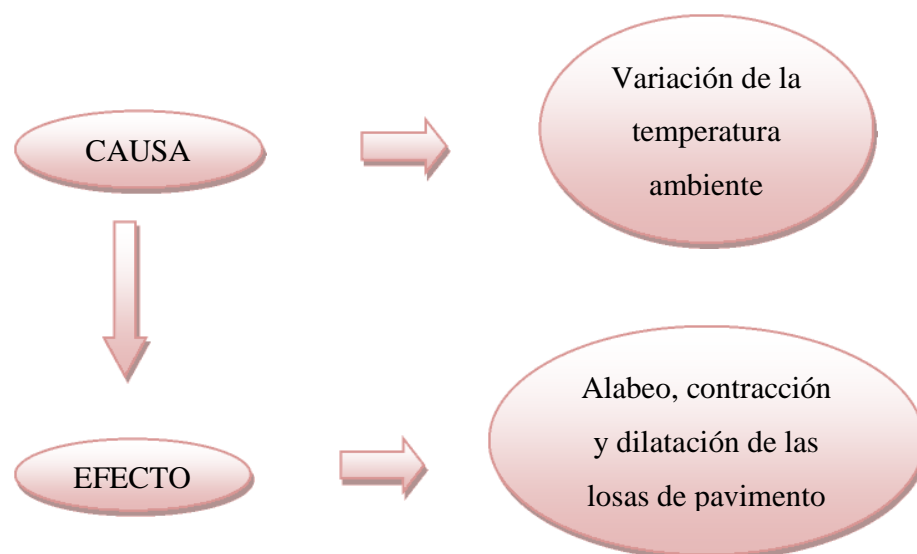
- Realizar el análisis del comportamiento del pavimento rígido con relación al esfuerzo de alabeo, contracción y dilatación, mediante la determinación de las deformaciones en losas de prueba.

#### 1.4.2.- Objetivos específicos

- Analizar la influencia de la temperatura sobre los esfuerzos de alabeo, contracción y dilatación en las losas de pavimento rígido.
- Caracterizar los materiales que componen el hormigón del pavimento, por su granulometría, peso específico y porcentaje de absorción.
- Determinar la dosificación del hormigón del pavimento, para el vaciado de las losa de prueba.
- Medir la contracción, dilatación y alabeo, en las losas de prueba a través de instrumentos de medición, para determinar sus valores.
- Analizar el comportamiento de las losas de pavimento rígido, en base a los resultados de las mediciones y proceso de evaluación, estableciendo conclusiones y recomendaciones.

#### 1.5.- Variables

Las variables que se presentan en el estudio son, una variable independiente que es la causa y una variable dependiente el efecto:



### **1.6.- Alcance**

El proyecto de pregrado titulado `` ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO CON RELACIÓN AL ESFUERZO DE ALABEO, CONTRACCIÓN Y DILATACIÓN'', alcanzará un resultado que servirá para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimento rígido, para evitar problemas y fallas que los esfuerzos por temperatura dejan; luego de brindar conocimiento relacionado al tema, en cuanto al pavimento rígido y la temperatura, gradiente térmico; que analizado en el seguimiento a tres losas vaciadas previa caracterización y dosificación de los materiales, curado, tomando medidas de los efectos que dejan los esfuerzos en el pavimento ante la variación de la temperatura de tal manera que se pueda establecer un comportamiento que el pavimento rígido presenta ante ellos haciendo un análisis que deje resultados útiles para prever problemas, buscando soluciones o alternativas que eviten el deterioro prematuro del pavimento.

Introduciendo con una visión general del proyecto se identificará el problema y justificará su viabilidad e importancia de su aporte a la sociedad, proyectándose un objetivo general que apoyado en otros específicos se alcance.

Para ello se precisarán de medios que son los instrumentos con los que se trabajará, claro está que se debe seguir una metodología de trabajo apoyado en una cronograma para el aprovechamiento del tiempo y logro de este fin.

Aclarando los conocimientos de acuerdo a bibliografía ya establecida sobre el pavimento rígido se investigará el efecto de la temperatura sobre él, y los esfuerzos a los que se ve sometido por su variación durante el día y la noche; analizando los esfuerzos de alabeo, contracción y dilatación se verán sus consecuencias en las losas del pavimento rígido.

Para la integración de este proyecto debe conocerse el proceso de ejecución del pavimento rígido, lo que incluye un conocimiento general sobre la sub-rasante, la sub base y más profundo del concreto (las losas), siguiendo de una investigación donde se explica el porqué de la importancia de tomar en cuenta los efectos de la variación de la temperatura en el pavimento rígido.

El comportamiento del pavimento rígido ante la variación de la temperatura genera efectos que deben ser estudiados para resultar datos que se emplearán en su diseño y construcción o durante su vida útil cuando se presenten problemas y fallas por estos factores.

El proyecto comprenderá un vaciado de tres losas a ser analizadas con objeto que el comportamiento de dos losas sea aprobado por una tercera, para ello se precisa de una caracterización de los materiales a ser usados la dosificación de los mismos, el vaciado y curado de las mismas; con un seguimiento a su comportamiento tomando las medidas de las deformaciones que dejan la contracción, dilatación y el alabeo, para llevarlos a un análisis y hacer una valoración de ellos, obteniendo resultados que lleven a considerarse en el momento de optar por la construcción de un pavimento rígido o cuando ya esté en servicio.

Finalmente se llegará a sacar las conclusiones y recomendaciones del "Estudio del comportamiento del pavimento rígido con relación al esfuerzo de alabeo, contracción y dilatación", que serán de gran utilidad para investigaciones sobre el tema, diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos rígidos, entre otros una aporte importante.

## 2.1.- Introducción

El pavimento rígido es una estructura vial, formada por una losa de concreto hidráulico, sub-base granular y la sub-rasante o en algunos casos la losa apoyada directamente sobre la sub-rasante; entre los tipos de pavimento de concreto están el de concreto simple, concreto reforzado con juntas, concreto con refuerzo continuo. Entre componentes del pavimento rígido además de la sub-base granular, la losa, están las juntas.

El pavimento rígido está sometido a esfuerzos, entre los que tenemos, esfuerzos por cargas, esfuerzos por temperatura los que serán objeto de estudio en el presente trabajo, y entre otros esfuerzos por humedad, el fraguado inicial, infiltración.

Los esfuerzos por temperatura son la contracción, dilatación y alabeo; los que se dan por dos gradientes de temperatura uno es el que corresponde a diferencial entre la parte superior y la inferior de la losa y el otro el que se presenta entre el día y la noche, la diferencia cabe cuando se habla de contracción y dilatación donde entra el segundo y cuando se habla de alabeo intervienen dos.

Los cambios volumétricos en una losa de pavimento rígido se dan principalmente de contracción y dilatación, por la dimensión de la misma. Durante el día ocurre una temperatura máxima y entre la noche y madrugada la mínima, donde las losas de pavimento rígido presentan sus mayores esfuerzos.

La temperatura incide directamente en el comportamiento de las losas de pavimento rígido, generando la contracción y dilatación y como consecuencia el alabeo; se genera

un gradiente negativo en la noche y un positivo en el día porque la temperatura en el día calienta más donde la superficie toma mayor calor que la parte inferior de la losa.

Las consecuencias que el comportamiento del pavimento rígido trae ante estos esfuerzos son las grietas y fisuras entre las que podemos nombrar, las llamadas grietas térmicas.

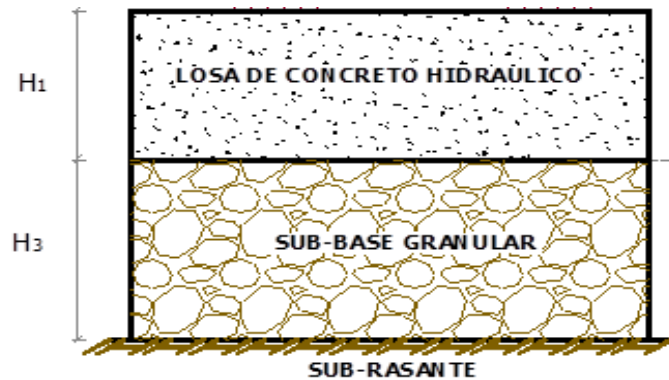
## **2.2.- Definición de pavimento rígido**

Un pavimento, se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la sub-rasante, y que se debe caracterizar por:

- Resistir las cargas impuestas por el Tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico.

### **El pavimento rígido**

Es el constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.



*Figura 1: Estructura de un pavimento rígido. Fuente: Explanaciones y firmes.*

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la descompactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

Se entenderá por pavimento rígido, una estructura que distribuye las cargas hacia la sub-rasante y que está compuesta por losas de hormigón cuya resistencia a la flexión es relativamente elevada.

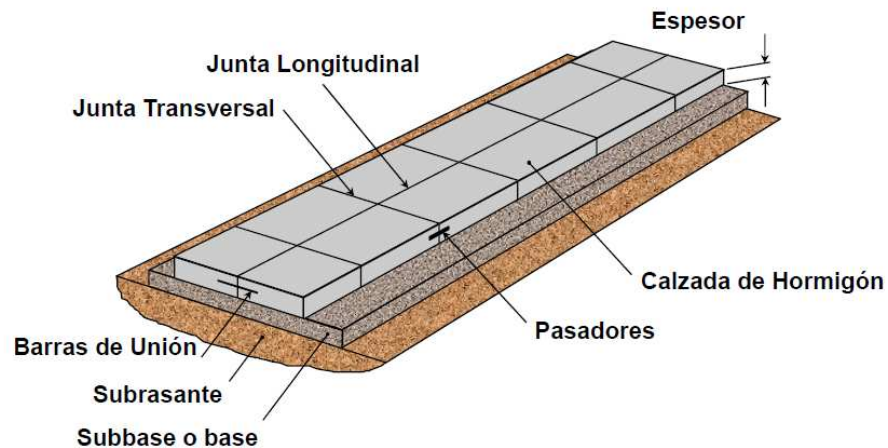
### **2.2.1.- Tipos de pavimento de concreto**

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

- Pavimentos de concreto simple.- Sin pasadores.- Con pasadores.

- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

### 2.3.- Componentes del pavimento rígido



*Figura 2: Componentes principales del pavimento rígido. Fuente: Diseño y construcción de pavimentos de hormigón. ICPA.*

**Sub-base granular** cumple las funciones de:

- Controlar el fenómeno del bombeo.
- Servir como transición.
- Proporcionar apoyo uniforme y estable en el tiempo a la losa de concreto; se controla mediante el análisis de erosión, durante el diseño de la estructura.

**Losa de concreto hidráulico** cumple las funciones de:

- Su principal función es el aporte estructural, ya que del paquete de la estructura, es el único elemento que da resistencia. El parámetro de diseño, es el módulo de rotura.

- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque se debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

**Juntas** cumple las funciones de:

- Controlar el agrietamiento del concreto simple, por efectos de retracción, expansión y alabeo.
- Facilitar la construcción de la estructura de la vía.

## **2.4.- Esfuerzos en pavimento rígido**

### **2.4.1.- Por efecto de las cargas**

Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse. Como quiera que la resistencia del concreto a la compresión sea importante, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa, son los críticos. Para su cálculo se utilizan fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a las hipótesis de que la losa está formada por un material elástico homogéneo e isótropo; que los esfuerzos de interacción entre ella y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa y que ésta es horizontal y de espesor constante. La segunda hipótesis implica continuidad entre losa y apoyo. Westergaard estudió tres condiciones de carga; en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

Para la carga en esquina, la tensión máxima se produce en el plano bisector y en el lecho superior de la losa. La carga en el borde produce la tensión máxima en el lecho inferior y en la dirección paralela al borde de la losa. Cuando la carga obra en el

centro, el esfuerzo máximo actúa en el lecho inferior y es, teóricamente, el mismo en cualquier dirección.

#### **2.4.2.- Esfuerzos por temperatura**

Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa incluso más que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos: los de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa y los provocados por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse.

Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue a un día cálido.

#### **2.4.3.-Otros**

Además, existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los de fraguada inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al acuñaamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que puedan formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis.

Variaciones volumétricas importantes en el suelo soporte pueden inducir en la losa de concreto esfuerzos considerables de valuación muy difícil, por lo que deben evitarse cuidadosamente. Debe notarse que la condición crítica para el diseño de la losa no se

obtendrá calculando todos los esfuerzos mencionados y sumándolos. Esto sería, sin duda, una condición excesivamente conservadora.

## **2.5.- Esfuerzos en pavimento rígido por efecto de la variación de la temperatura**

De acuerdo con la teoría (Huang, 1993), durante el día cuando la temperatura en la parte superior de la losa de pavimento es mayor que la de la inferior, las fibras superiores tienden a expandirse con respecto al eje neutro, mientras que, las fibras inferiores tiende a comprimirse; sin embargo, el peso de la losa restringe la expansión y contracción, generando esfuerzos de compresión en la mitad superior de la losa y de tensión en la mitad inferior. En la noche el fenómeno es inverso ya que la temperatura de la parte superior de la losa es menor a la inferior, lo que genera esfuerzos de tracción en la fibra superior y de compresión en la inferior.

En la práctica cotidiana de la ingeniería de pavimentos el efecto del alabeo térmico suele omitirse, entre otras razones, por las siguientes (Huang, 1993):

- Se considera que las juntas y pasadores transversales alivian y transmiten los esfuerzos debidos alabeo, ya que éstos se disipan cuando el concreto se fractura.
- Bajo el principio de fatiga no se considera práctico combinar los esfuerzos generados por las cargas y el alabeo; puesto que los generados por las cargas durante el período de diseño son ampliamente mayores que los debidos al alabeo térmico.
- Se considera que existe compensación entre los esfuerzos generados en el día con los de la noche.

Los esfuerzos en el pavimento rígido generan un cambio volumétrico, la función de las juntas longitudinales es controlar los efectos del cambio volumétrico del concreto

debido a los cambios de temperatura ambiente. Las juntas transversales por su parte cumplen funciones más amplias: deben controlar los esfuerzos de alabeo que sufren las losas por los cambios de temperatura entre la noche y el día.

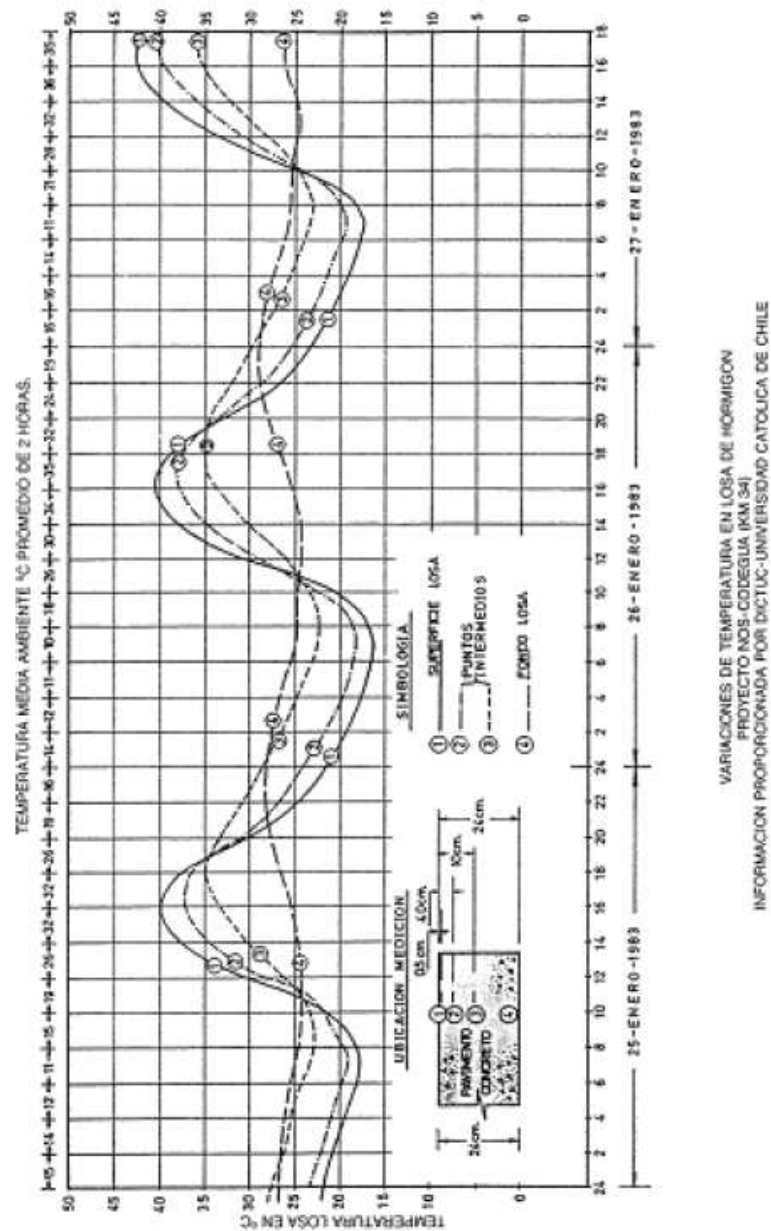
Los resultados obtenidos a través del análisis de la PCA arrojaron puntos críticos de control los cuales son: las juntas, los bordes y la esquina de la losa. Este método valora el pavimento de acuerdo a dos modos posibles de falla: fatiga y erosión, evaluando principalmente: esfuerzos en el concreto, deformación en las juntas, deformación en las esquinas, deformación en los bordes.

Las deformaciones del pavimento inducen esfuerzos tanto de compresión como de tensión. Las grietas se propagan en el lado del elemento que está sometido a tensión y el comportamiento del elemento agrietado cambia de manera desfavorable. Cuando un material, incluyendo el concreto, se comprime en una dirección sufre expansión en la sección transversal a la aplicación del esfuerzo.

Es conocido que las losas de concreto de cemento Portland pueden desarrollar esfuerzos como consecuencia de la diferencia de temperatura entre sus caras superior e inferior o por la variación uniforme de temperatura en las losas. La magnitud de dichos esfuerzos depende, entre otros factores:

- De la variación de la temperatura en la losa.
- De la geometría de la losa.
- De los materiales que constituyen el concreto de cemento Portland.

La temperatura ambiente controla el equilibrio térmico del pavimento.



**Figura 3: Variaciones de temperatura en losa de hormigón. Fuente: ICH, Diseño de pavimentos de hormigón.**

Existe una fuerte influencia de la radiación solar y la temperatura ambiente sobre la temperatura del pavimento (Yang, 1972).

Se ha establecido que la temperatura más alta del pavimento se alcanza cerca de una hora después del pico de la radiación solar. La conductividad térmica y la capacidad calórica de los materiales del pavimento afectan la velocidad del flujo calórico y puede presentarse una diferencia de temperaturas en la masa de la losa con la consecuente aparición de los esfuerzos de alabeo o de fricción de acuerdo con la distribución de la temperatura. En algunas ocasiones, la magnitud y frecuencia de estos esfuerzos pueden generar el agrietamiento de las losas.

Tradicionalmente, en el diseño y análisis de los pavimentos de concreto de cemento Portland la distribución de la temperatura a través del espesor de la losa se asume lineal. Sin embargo, medidas tomadas en campo indican un comportamiento opuesto (Zhang et al., 2003). El perfil no lineal se caracteriza por un cambio relativamente grande en el cuarto superior del espesor de la losa seguido de un cambio más gradual hacia el fondo de la misma (Yoder et al., 1975).

De acuerdo con Zhang et al (op. cit., 2003), la distribución no lineal de temperatura está constituida por tres partes con base en los efectos respectivos sobre la deformación de la losa:

- Una parte de temperatura biforme que causa que la losa se expanda o se contraiga uniformemente a través de la sección transversal.
- Una parte lineal que causa flexión en la losa.
- Una parte no lineal que permanece después de que las partes de temperatura lineal y uniforme han sido sustraídas de la distribución total de la temperatura.

Para calcular los esfuerzos causados por la variación de la temperatura se requiere conocer su comportamiento en las losas de concreto de cemento Portland.

### **2.5.1.- Efecto de la temperatura en pavimentos rígidos**

Los diferenciales de temperatura dentro de una losa de concreto pueden ser provocadas por partes que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen superan la capacidad de deformación por tracción de concreto, éste se agrietará.

El concreto endurecido tiene un coeficiente de expansión térmica que puede variar entre  $7$  a  $11 \times 10^{-6}$ , con un valor típico de  $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ . Así mismo, en la norma ACI 224.3R-95 “Juntas en construcciones de concreto”, resalta la importancia de la variación de la temperatura diaria, así como las distorsiones que ocurren de la noche al día, o cuando la luz del sol calienta diferentes partes de la estructura. Estas distorsiones pueden resultar complicadas, provocando cambios de longitud, y curvaturas en partes de la estructura.

Todos los pavimentos de concreto requieren del diseño adecuado de juntas, el cual parte del chequeo de las dimensiones para evitar fisuración y agrietamiento debido al fenómeno de contracción volumétrica y alabeo producido por los cambios de temperatura entre la noche y el día, la humedad relativa, la velocidad del viento, etc.

La fisuración puede aparecer a edades tempranas del concreto durante el periodo de fraguado final, en el cual el concreto vive un cambio volumétrico de estado plástico a estado sólido. La formación de pequeños cristales debido a la hidratación del cemento le dan una apariencia rígida pero aun con baja resistencia a la tensión.

Una mezcla de concreto segregable o propensa a la exudación sumado a la desecación superficial debida a las corrientes de viento, altas temperaturas, a la baja humedad relativa del ambiente produce tensiones en la capa superficial muy superiores a las fuerzas que están uniendo a los cristales. Se generan así fisuras que pueden ser tan críticas como las mismas condiciones climáticas que las provocaron. En conclusión la fisuración aparece cuando se restringe el libre movimiento volumétrico de la masa de concreto y el alabeo natural.

Los cambios de volúmenes asociados y las restricciones a la libre contracción dan como resultado esfuerzos de tensión que pueden agrietar el concreto.

Debido a la muy baja conductividad térmica del concreto, el calor generado por la hidratación se disipa. Con mucha lentitud, a menos que sea ayudado artificialmente.

La velocidad y la magnitud del calor generado en un concreto dependen de:

- Cuantía y tipo de cemento.
- Cuantía y tipo de puzolana.
- Finura del cemento.
- Temperatura del concreto durante la hidratación del cemento.

La temperatura durante la hidratación dependerá de la ganancia o pérdida de calor con el medio, lo cual es función a su vez de la geometría y dimensiones del elemento y de las condiciones de exposición. De ahí que la temperatura exacta de un concreto en un momento determinado dependa de muchas variables. El control de la temperatura es la base fundamental para lograr el buen manejo del concreto masivo y así poder construir con calidad, ahorrando tiempo, esfuerzo y dinero en la construcción de las estructuras que requieran de su utilización.

### **2.5.1.1.-Gradiente térmico**

Se define así a la diferencia entre temperaturas, en este estudio se hablarán de dos gradientes, uno es el generado por la variación de temperatura entre las caras de la losa de pavimento rígido y el generado por la variación de la temperatura entre la noche y el día.

Los cambios en la temperatura ambiente originan variaciones en la temperatura a distintas profundidades de la losa. El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del concreto se calienta más que la parte exterior por el calor liberado, durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del concreto. En ambos casos se originan tensiones de tracción en el exterior y, estas tensiones superan la resistencia a la tracción, habrá agrietamiento.

Cuanto más masiva sea la estructura, mayor será su potencial de generar gradientes térmicos y agrietarse. Los gradientes de temperatura provocan deflexiones y rotaciones en los elementos estructurales; si éstos, están restringidos, se pueden generar tensiones elevadas.

El gradiente de temperatura varía con las oscilaciones de las temperaturas diarias y estacionales, provocando una desigual dilatación o contracción de la masa de hormigón según su distancia a la superficie de la misma, dando como resultado el alabeo de la losa.

Este movimiento está parcialmente impedido por el peso propio, fricción de apoyo y reacciones en los dispositivos de transmisión de cargas entre losas, lo cual provoca

“tensiones”; el alabeo altera el régimen de contacto de la losa con la sub-rasante, pudiendo aumentar, por esta razón, las tensiones producidas por la acción de las cargas.

En verano, durante el día, se produce el máximo gradiente positivo. La losa se deforma arqueando los bordes hacia abajo. Es decir, tienden a una forma convexa cuando por efecto de insolación la temperatura en la superficie se eleva por sobre la de su base.

Durante la noche, especialmente de madrugada, ocurre lo contrario y la losa se deforma arqueando los bordes hacia arriba. Es decir, cuando el sol declina y la temperatura superficial desciende, las losas tienden a una forma cóncava por levantamiento relativo de los bordes respecto al centro que permanece apoyado.

La temperatura media de la losa también cambia y provoca dilatación o contracción; al estar su movimiento restringido por el rozamiento con la sub-rasante o sub-base y la resistencia de las juntas, se producen tensiones en el pavimento. Las tensiones originadas por los cambios de temperatura, normalmente han sido incorporadas en los métodos de diseño.

### **2.5.1.2.- Análisis de las temperaturas extremas**

Considerando que las losas de los pavimentos rígidos sufren efectos de contracción, dilatación y alabeo ante las diferentes temperaturas, es preciso hacer una pausa cuando nos encontremos en las máximas extremas es decir ante la máxima temperatura y la mínima pues es cuando las losas reaccionan en su punto más crítico.

La tierra gira en torno a su eje, cierta zona ubicada en la tierra cuando ésta gira y resulta la zona alejada lo más del sol, en ella se produce la mínima temperatura; al contrario cuando ésta se encuentra más cerca del sol se produce la máxima. Como hemos dicho en verano durante la noche, especialmente de madrugada la losa se deforma arqueando los bordes hacia arriba, cuando el sol declina y la temperatura superficial desciende, así las losas tienden a una forma cóncava por levantamiento relativo de los bordes respecto al centro que permanece apoyado.

Al exponerse el pavimento a la radiación solar se eleva la temperatura de la superficie y de inmediato comienza un proceso de conducción térmica que irá incrementando la temperatura paulatinamente hacia los niveles inferiores de la estructura; produciéndose un proceso inverso de enfriamiento cuando cesa la radiación, sea por la ocultación del sol debido a nubosidad o al ocaso.

Los gradientes negativos, condición de cara superior más fría que cara inferior, tienden a predominar en días de sol desde media tarde hasta avanzada la mañana siguiente, a través de la noche.

De esta manera, y al observar las importantes variaciones de temperaturas ambientales en los días de verano, nos hace concluir que existen fuertes gradientes de temperatura negativos, al existir estos bruscos cambios de temperaturas a lo largo de estos días.

### **2.5.1.3.-Cambios de volumen en las losas de concreto**

El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una, disminución del volumen. Más comúnmente el cambio de volumen del concreto trata de la

expansión lineal y la contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. El concreto sufre importantes cambios dimensionales durante su vida en servicio. Sin embargo, muchos de estos cambios se producen durante las primeras edades mientras el material evoluciona desde un estado plástico y maleable hasta uno rígido en el que, no sólo se producen contracciones debido a los productos de reacción tienen menor volumen y que existen pérdidas de agua de la masa por exudación y por secado, sino que también hay efectos térmicos tanto que las propias reacciones de hidratación como por temperatura ambiente, que pueden actuar aumentando el volumen en el caso de calentamiento, como de contracción en cuanto se enfría. En cualquier caso, estos cambios volumétricos no generan tensiones por sí solos, sino por la restricción a ellos. (Revista de la Técnica y Construcción, Noticreto).

Si el concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero como el concreto en servicio normalmente se restringe por la sub-rasante, refuerzo o elementos conectados, se puede desarrollar esfuerzos considerables.

### **2.5.2.- Esfuerzo de alabeo ante al cambio de temperatura**

El alabeo se produce cuando la parte superior de la losa trata de ocupar un volumen menor que la parte inferior; esto puede suceder por diferencias entre las porciones superiores e inferiores con respecto a la retracción, temperatura, contenido de humedad y otras variables. Para que la losa se mantenga intacta, sus bordes deben levantarse.

Estos bordes pueden estar constituidos por el término discontinuo de la losa, una junta de construcción, una junta de contracción o una grieta suficientemente ancha.

Las esquinas de las losas sin restricciones verticales, deben levantarse más alto que los bordes más alejados, para que no se produzcan grietas.



***Figura 4: Alabeo de una losa. Fuente: Dilatación explosiva del hormigón. Universidad de Chile.***

Determinar los esfuerzos por alabeo térmico suele realizarse a través de dos métodos: las soluciones de forma cerrada y los programas de elementos finitos para computador.

En la práctica cotidiana de la ingeniería de pavimentos el efecto del alabeo térmico suele omitirse, entre otras razones, por las siguientes (Huang, 1993):

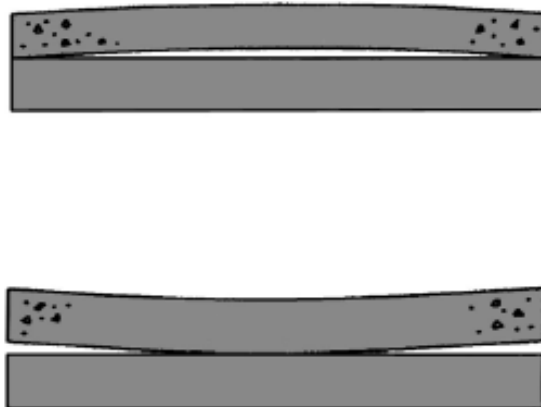
- Se considera que las juntas y pasadores transversales alivian y transmiten los esfuerzos debidos alabeo, ya que éstos se disipan cuando el concreto se fractura.
- Bajo el principio de fatiga no se considera práctico combinar los esfuerzos generados por las cargas y el alabeo; puesto que los generados por las cargas durante el período de diseño son ampliamente mayores que los debidos al alabeo térmico.
- Se considera que existe compensación entre los esfuerzos generados en el día con los de la noche se sospecha que al omitir los efectos del alabeo térmico se

está sobrestimando el comportamiento y resistencia de la estructura de pavimento y que por tanto, ésta puede ser una de las causas de su deterioro.

### 2.5.2.1.- Análisis del alabeo ante la variación de la temperatura

Por diferentes razones, un alabeo importante constituye un problema. En la superficie de la losa se producen tensiones de tracción considerables, desde los bordes que tienden a alabearse hacia arriba, debido al peso propio y cualquier carga o restricción vertical que intenta empujarlos hacia abajo; esto, además de la retracción, puede producir agrietamiento.

Los hormigones con resistencias mayores generalmente (no siempre) se retraen más y siempre poseen un módulo de elasticidad mayor. El módulo de elasticidad es un factor muy importante porque mientras mayor sea el módulo, más alabeo se producirá y los bordes alabeados con el tiempo cederán menos hacia abajo debido a la fluencia lenta.



**Figura 5: Alabeo de una losa por temperatura, en el día y noche. Fuente: Diseño y construcción de juntas.**

Cualquier acción que incremente o disminuya la retracción tendrá el mismo efecto sobre el alabeo. Las resistencias a la compresión del hormigón no deberían ser mayores a lo necesario para obtener la capacidad estructural y la durabilidad requeridas. Cualquier resistencia mayor a la necesaria, en general, es perjudicial con respecto al alabeo y a la retracción.

Al minimizar la separación de las juntas de las losas se puede disminuir enormemente el alabeo y las grietas resultantes así como también otros problemas. Para las losas no reforzadas o muy poco reforzadas, el criterio más común utilizado para la separación de las juntas es de 36 veces el espesor de la losa y puede ser inadecuado para muchos de los hormigones actuales, especialmente, al aumentar el espesor de la losa. Es cierto que a mayor espesor de la losa, mayor puede ser la separación de la junta; sin embargo, no existe una relación lineal. Creemos que, a menos que las personas conozcan realmente lo que están haciendo, no debería excederse los 4,6 m (15 pies) de separación para las losas no reforzadas o muy poco reforzadas. Al usar más reforzamiento, más se podrá reducir el alabeo.

Otra forma de reducir el alabeo es usando losas diseñadas y construidas adecuadamente, con reforzamiento continuo, sin juntas de contracción ni hormigón de retracción compensada o postensado. El postensado puede compensar el alabeo. Las temperaturas tanto del hormigón como del ambiente en la obra deberían ser lo más bajas posibles. Además de minimizar la retracción y el secado de la superficie, esto puede reducir la contracción térmica por enfriamiento (tanto a corto como a largo plazo). Un curado adecuado es siempre importante, pero especialmente en las primeras horas después de la colocación del hormigón. Se debe evitar que la superficie se seque de manera excesiva entre las operaciones de acabado. Con frecuencia, la mayor pérdida de humedad se ubica cerca de los bordes de la losa y de las juntas de construcción, durante el período de curado y después, debido a los materiales y/o prácticas inadecuados. Por desgracia, esto aumenta el alabeo en las

peores ubicaciones. Minimizar el diferencial de humedad desde la superficie hacia la base es de gran importancia porque la base de la losa casi siempre contiene un mayor grado de humedad, por lo tanto, un mayor volumen que la superficie; entonces, aumenta el alabeo.

La base de la losa presiona hacia el suelo debido a su propio peso. La deformación máxima de la losa, con respecto al suelo, se produce cerca del borde voladizo y disminuye hacia el centro de la losa, a medida que la porción central se levanta un cierto grado del suelo. Al aumentar el alabeo, la distancia voladiza aumenta y la losa se hunde más en el suelo.

La distancia de la esquina diagonal de la losa, que no está en contacto con el suelo, es aproximadamente el doble que la distancia del borde al centro de la losa, que no está en contacto con el suelo. La separación bajo el centro del borde de la losa es aproximadamente un 30% de la separación existente bajo la esquina de la losa.

Las mayores tensiones por alabeo se encuentran dentro de una amplia área al centro del paño de losa, lo que explica por qué casi todas las llamadas "grietas por retracción" se encuentran en la sección intermedia a lo ancho de la losa. Aproximadamente, el 36% del área de la losa tiene una tracción por alabeo mayor al 50% de la capacidad de flexión de la losa. El área de la losa que no se encuentra en contacto con el suelo es cercana al 50% del área total del paño de losa.

La tracción por alabeo es mucho más importante a medida que aumenta el espesor. Salvo para las separaciones muy largas de juntas, a medida que el módulo de reacción  $K$  de la rasante aumenta (el suelo proporciona un apoyo más rígido), la tracción por alabeo también sube.

Esto se debe a que la losa no hace mucha presión sobre el suelo que la soporta, entonces aumenta la longitud del borde de la losa que se encuentra volada, al no poder "hundirse" en la base.

Las tensiones por alabeo se reducen para los hormigones de baja resistencia con el mismo potencial de retracción porque el módulo de elasticidad es menor. (Wayne, 2000). Estudio experimental dilatación explosiva de pavimentos de hormigón.

De los métodos de cálculo del esfuerzo de alabeo tenemos:

### Soluciones de Forma Cerrada

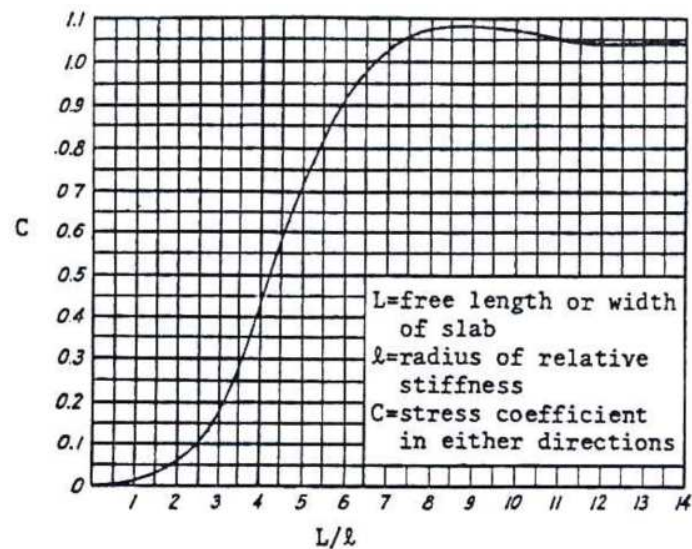
Bradbury (1938), a partir de los trabajos realizados por Westergaard (1926), desarrolló expresiones para el esfuerzo en el borde ( $\sigma_{ce}$ ), el interior ( $\sigma_{ci}$ ) y la esquina ( $\sigma_{ce}$ ), en libras por piecúbico (psi), de una losa de dimensiones finitas en las direcciones longitudinal y transversal así:

$$\sigma_{ce} = \frac{C^* E^* \alpha t^* \Delta t}{2} = \frac{E^* \alpha t^* \Delta T}{2} \left[ 1 - \frac{2 \cos \lambda \cosh \lambda}{\operatorname{sen} 2\lambda + \operatorname{senh} 2\lambda} (\tan \lambda + \tanh \lambda) \right] \quad (1)$$

$$\sigma_{ci} = \frac{E^* \alpha t^* \Delta T}{2} \left[ \frac{C_1 + 1 C_2}{1 - \nu^2} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_{ce} = \frac{E^* \alpha t^* \Delta T}{3(1-\nu)} \sqrt{\frac{a}{l}} \quad (3)$$

Donde C1 y C2 son los coeficientes de esfuerzo por alabeo para la dirección principal y perpendicular de análisis respectivamente y se obtienen de la Figura 6.



**Figura 6: Estimación del coeficiente de esfuerzo por alabeo C. Fuente: Huang (1993).**

Los valores de las variables  $\lambda$  y  $l$  se establecen mediante las ecuaciones:

$$\lambda = \frac{B}{l\sqrt{8}} \quad (4) \quad l = \left( \frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2)k} \right)^{0.25} \quad (5)$$

En las anteriores expresiones  $k$  es el módulo de reacción de la sub-rasante en libra por pie cúbico (pci),  $h$  es el espesor de la losa en pulgadas (in),  $B$  es el ancho o longitud de la misma en pies (ft) y  $E$  y  $\mu$  son los parámetros elásticos del concreto.

Para la deducción de la ecuación del esfuerzo por alabeo térmico en la esquina de una losa ( $\sigma_{ct}$ ), Bradbury consideró el efecto combinado de los esfuerzos generados por el alabeo térmico y las cargas de tránsito; por tanto, en la expresión 3 aparece el valor del radio de la carga aplicada ( $a$ ) y la relación de rigidez relativa ( $l$ ).

De acuerdo con Huang (1993) y Lee Y. H., Lee Y. M. y Yen (2002) el esfuerzo máximo debido a las cargas de tránsito y al alabeo térmico en la esquina de una losa, tal como se enunció previamente, ocurre sobre la diagonal de la esquina a una distancia igual a:

$$X_1 = 2\sqrt{\sqrt{2}al} = 2.38\sqrt{al} \quad (6)$$

### 2.5.3.- Dilatación de las losas en pavimentos rígidos

El pavimento rígido está formado por losas de concreto, éstas sufren cambios ante la acción de la temperatura así es que ocurre la dilatación, es decir la expansión del concreto.

Las losas de pavimentos colados en clima frío son menos susceptibles al agrietamiento que cuando el trabajo se efectúa en clima caliente, pues los cambios de temperatura afectan la longitud «base», generalmente produciendo expansión que no es tan crítica como la contracción.

El hormigón endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma.

Se debe observar que la expansión que ocurre durante el almacenamiento húmedo continuo durante un periodo de varios años es normalmente menor que 150 millonésimos.

Existen las juntas de expansión generalmente transversales, se caracteriza porque dan espacio para liberar la dilatación de las losas. Están constituidas por una interrupción en la continuidad del hormigón que comprende todo el ancho de la losa. Su ancho

dependerá de la longitud de diseño de las losas y el tipo de hormigón utilizado. Sus caras son planas y perpendiculares al eje de la calzada y a la superficie de la subrasante.

### **2.5.3.1.- Análisis de la dilatación ante la variación de la temperatura**

El efecto de dilatación trae como consecuencias cambios en las losas, importante su análisis cuando se trata de prever este efecto en un periodo inicial de fraguado del concreto, material de la que está hecha la losa del pavimento rígido.

Ocurre el siguiente fenómeno cuando la temperatura se va elevando, mientras esto ocurre la materia que compone las losas de los pavimentos rígidos precisa expandirse pues las moléculas que la componen reaccionan de esta forma ante la elevación de la temperatura.

El hormigón se expande ligeramente con el aumento de la temperatura y se contrae a medida que ésta disminuye, aunque se puede expandir levemente cuando el agua libre en el hormigón se congela.

Los cambios de temperatura se pueden causar por condiciones ambientales o por la hidratación del cemento. Un valor promedio del coeficiente de expansión térmica del hormigón es cerca de 10 millonésimos por grado Celsius (5.5 millonésimos por grado Fahrenheit), a pesar que se observaron valores variando de 6 a 13 millonésimos por grado Celsius (3.2 a 7.0 millonésimos por grado Fahrenheit).

Esto resulta en cambios de longitud de 5 mm por 10 metros de hormigón, sometidos a aumento o disminución de temperatura de 50°C. El coeficiente de expansión térmica para el hormigón estructural de baja densidad (ligero) varía de 7 a 11

millonésimos por grado Celsius. El coeficiente de expansión térmica del hormigón se puede determinar a través de la AASHTO TP 60.

La expansión y la contracción térmica del hormigón varían con factores tales como el tipo de agregado, el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la variación de la temperatura, la edad del hormigón y la humedad relativa. De éstos, el tipo de agregado tiene mayor influencia.

La tabla muestra algunos valores experimentales del coeficiente de expansión térmica de hormigones producidos con varios tipos de agregados. Estos datos se obtuvieron a través de pruebas en especímenes pequeños, en los cuales todos los factores fueron los mismos, con excepción del tipo de agregado. En cada caso, el agregado fino era el mismo material que el agregado grueso.

Tipo de agregado de una fuente	Coeficiente de expansión, millonésimos por °C	Coeficiente de expansión, millonésimos por °F
Cuarzo	11.9	6.6
Arenisca	11.7	6.5
Grava	10.8	6.0
Granito	9.5	5.3
Basalto	8.6	4.8
Caliza	6.8	3.8

**Tabla 1: Efecto del tipo de agregado sobre el coeficiente de expansión térmica. Fuente (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La plata).**

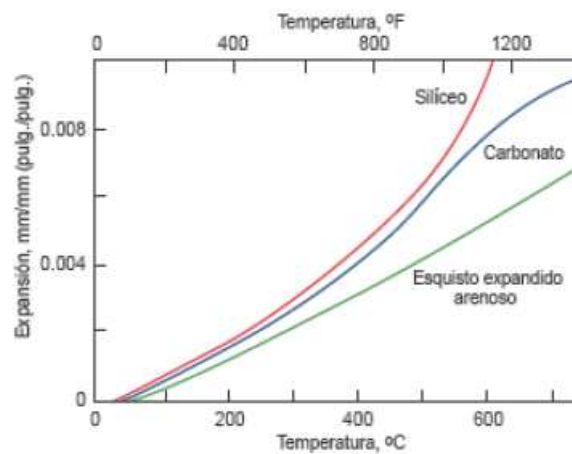
El coeficiente de expansión térmica del acero es cerca de 12 millonésimos por grado Celsius, el cual se compara al del hormigón. El coeficiente del hormigón reforzado se puede asumir como el promedio del hormigón y del acero, o sea, 11 millonésimos por grado Celsius.

Los esfuerzos de tracción resultantes pueden agrietar el hormigón. Tanto la resistencia a la tracción del hormigón como el módulo de elasticidad del concreto se pueden asumir como proporcionales a la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del hormigón, y los cálculos enseñan que una caída muy acentuada de la temperatura va a grietar el hormigón, a pesar de su edad o resistencia, siempre que el coeficiente de expansión no cambie con la variación de temperatura y el concreto esté totalmente restringido (FHWA y Transtec 2001 y PCA 1982).

#### **2.5.3.1.1.- Temperaturas elevadas**

Temperaturas más altas que 95°C, cuando se sostienen por varios meses o solamente por algunas horas, pueden afectar considerablemente el hormigón. La cantidad total de cambio de volumen del hormigón es la suma de los cambios de volúmenes de la pasta de cemento y de los agregados. A temperaturas elevadas, la pasta se retrae debido a la deshidratación, mientras que los agregados se expanden.

Para el hormigón con agregados normales, la expansión del agregado excede la contracción de la pasta, resultando en una expansión del hormigón. Algunos agregados, tales como el esquisto (pizarra) expandido, la andesita o la piedra pómez, con coeficientes de expansión bajos, pueden producir un hormigón con gran estabilidad de volumen en ambientes de temperaturas altas figura 7. Por otro lado, algunos agregados presentan cambios grandes de volumen y repentinos en ciertas temperaturas, causando la falla del hormigón. Por ejemplo, en un estudio, un agregado de caliza dolomítica conteniendo impurezas de sulfuro de hierro causó expansión, agrietamiento y desintegración severos en el concreto expuesto a una temperatura de 150°C por cuatro horas. (El fenómeno de contracción en pavimento de hormigón. La plata).



**Figura 7: Expansión térmica del hormigón conteniendo varios tipos de agregado.**

A temperaturas mayores y menores que 150°C no hay expansión perjudicial. El coeficiente de expansión térmica tiende a aumentar con el incremento de la temperatura.

Además del cambio de volumen, las altas temperaturas sostenidas pueden también tener otros efectos irreversibles, tales como reducción de resistencia, del módulo de elasticidad, de la conductibilidad térmica y aumento de la fluencia. A temperaturas más altas que 100°C, la pasta empieza a deshidratarse (pérdida del agua químicamente combinada de la deshidratación), resultando en pérdidas considerables de resistencia.

La resistencia disminuye con el aumento de la temperatura hasta que el hormigón pierde prácticamente toda su resistencia. El efecto de la exposición a temperaturas elevadas sobre la resistencia de hormigones producidos con varios tipos de agregados se enseña en la figura 7.

Muchos factores, incluyendo el contenido de humedad en el hormigón, tipo y estabilidad del agregado, contenido de cemento, tiempo de exposición, tasa de aumento de temperatura, edad del hormigón, restricción y esfuerzo existente influyen el comportamiento del hormigón a altas temperaturas.

Si se usan agregados estables y si, en el diseño de la mezcla, se llevan en consideración la reducción de la resistencia y los efectos sobre otras propiedades, el hormigón de alta calidad se puede exponer a temperaturas de 90°C a 200°C por periodos prolongados.

Algunos elementos de concreto fueron expuestos a temperaturas de hasta 250°C por periodos de tiempo. Sin embargo, se deben adoptar medidas especiales (tales como cemento de aluminato de calcio resistente a altas temperaturas) en exposiciones a temperaturas mayores que 200°C. Antes que se exponga cualquier hormigón a temperaturas elevadas (mayores que 90°C), se deben hacer pruebas para determinar las propiedades térmicas del hormigón. Esto evitará cualquier esfuerzo inesperado.

#### **2.5.4.- Contracción de las losas en pavimentos rígidos**

La respuesta de cada cuerpo ante el descenso de la temperatura es dependiente del material del que está compuesto, así es pues cuando esto ocurre las losas tienden a comprimirse ocurriendo un cambio de volumen a lo que se llama contracción.

Existen las juntas de contracción, tiene la misión de aliviar tensiones causadas por la contracción del hormigón y disminuir las causadas por los cambios de temperatura y tránsito.

Se construyen aserrando una cavidad en la parte superior de la calzada cuando el hormigón está aún en estado plástico a las 24hrs del hormigonado. Este aserrado, de una profundidad equivalente a un cuarto del espesor del pavimento, debilita la sección de la calzada en que está ubicada, de tal manera que cuando el pavimento se contrae la rotura de la losa se produce en correspondencia de la misma, vale decir que, por medio de este arbitrio, se provoca la formación de una grieta dirigida. Posterior a esto se realiza un doble aserrado para ser sellado con el material elegido.

La mayor parte de la contracción anticipada del concreto ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento provocado principalmente por cambios de temperatura. El calor de hidratación y temperatura del pavimento normalmente alcanza su valor máximo muy poco tiempo después de su colocación y una vez alcanzado su valor máximo, la temperatura del concreto baja debido a la reducción de la actividad de hidratación y también debido al efecto de la baja temperatura ambiente durante la primera noche del pavimento.

Otro factor que contribuye a la contracción inicial es la reducción de volumen a causa de la pérdida de agua en la mezcla. El concreto para aplicaciones de caminos requiere de mayor cantidad de agua de mezcla que la requerida para hidratar el cemento, esta agua extra ayuda a conseguir una adecuada trabajabilidad para la colocación y para los trabajos de terminado, sin embargo durante la consolidación y el fraguado la mayor parte del agua en exceso sangra a la superficie y se evapora provocando que con la pérdida de agua el concreto ocupe menos volumen.

La fricción de la sub-rasante terreno de apoyo se resiste a la contracción del pavimento por lo que se presentan en el interior del pavimento algunos esfuerzos de

tensión, los cuáles de no ser considerados pueden provocar grietas transversales como las mostradas en la siguiente figura:



***Figura 8: Agrietamiento en el hormigón. Fuente: El fenómeno de la contracción.  
La plata.***

El espaciamiento de las grietas iniciales del pavimento varían entre 1.20 y 5.00 metros y dependen de las propiedades del concreto, espesor, fricción de la base y de las condiciones climáticas durante y después de la colocación.

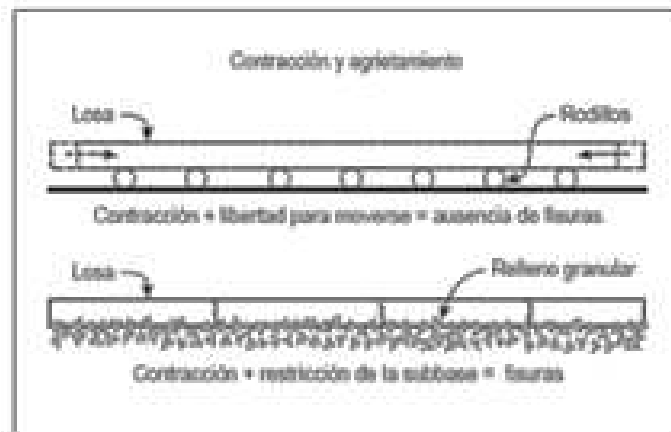
Los intervalos de las grietas son más cortos cuando los pavimentos se apoyan en bases rígidas o estabilizadas por lo que hay menor abertura en cada grieta, mientras que la separación de las grietas será mucho mayor para pavimentos sobre bases granulares, por lo que al tener una separación mayor en las grietas iniciales se puede anticipar una mayor abertura y movimiento para cada grieta.

El cambio de volumen del hormigón empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen y la formación de fisuras en el hormigón endurecido, especialmente en hormigones con una baja relación agua - cemento.

#### 2.5.4.1.- Análisis de la contracción ante la variación de la temperatura

Muchos tipos de contracción son importantes y llegan a causar agrietamiento de las losas de concreto, pero la contracción por la variación de temperatura afecta al pavimento durante su vida útil, por lo que debe ser estudiada pues causa tensiones que al superar la de la losa ésta se agrieta.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida el concreto no se agrietaría. Es la combinación de la contracción (retracción) y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la sub-rasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del concreto éste se fisura.



**Figura 9: Contracción y agrietamiento. Fuente: Libro Diseño y control de mezclas de concreto PCA. (2004).**

Es notable el efecto que ocurre cuando la temperatura tiende a bajar, se observa la contracción de las losas. El hormigón endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma continuo durante un periodo de varios años es normalmente menor que 150 millonésimos. Esto es cerca de un cuarto de la contracción del hormigón secado al aire durante el mismo periodo.

Los cambios de temperatura que resultan en contracciones pueden fisurar los elementos de hormigón que son altamente restringidos por otra parte de la estructura o por fricción (rozamiento) con el terreno. Considere un elemento de hormigón largo, restringido, colado (colocado) sin juntas, que, después del curado húmedo, tuvo una disminución de temperatura baja, el hormigón tiende a acortarse, pero no lo consigue pues está restringido longitudinalmente. Los esfuerzos de tracción resultantes pueden agrietar el hormigón.

Tanto la resistencia a la tracción del hormigón como el módulo de elasticidad del concreto se pueden asumir como proporcionales a la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del hormigón, y los cálculos enseñan que una caída muy acentuada de la temperatura va a grietar el hormigón, a pesar de su edad o resistencia, siempre que el coeficiente de expansión no cambie con la variación de temperatura y el concreto esté totalmente restringido (FHWA y Transtec 2001 y PCA 1982).

#### **2.5.4.1.1.- Temperaturas bajas**

El hormigón continúa a contraerse a medida que la temperatura disminuye por debajo de la congelación. La magnitud del cambio de volumen a temperatura bajo 0°C es altamente influenciada por el contenido de humedad, el comportamiento del agua (estado físico-hieloo líquido) y el tipo de agregado en el hormigón.

En un estudio, el coeficiente de expansión térmica para el rango de 24°C a -157°C varió de  $6 \times 10^{-6}$  por °C en mezclas con arena y grava. Temperaturas bajo 0°C pueden aumentar considerablemente las resistencias a compresión y a tracción y el módulo de elasticidad del hormigón húmedo.

Las propiedades del hormigón seco no se afectan por las bajas temperaturas. En el mismo estudio, el concreto húmedo, con una resistencia a compresión originalmente de 35 Mpa a 24°C, alcanzó más de 117 Mpa a -100°C. El mismo hormigón ensayado, que se ha secado al horno a 50% de humedad relativa interna, tuvo un incremento de resistencia de sólo cerca de 20%. El módulo de elasticidad para el hormigón con arena y grava y 50% de humedad relativa fue sólo 8% mayor a -157°C que a 24°C, mientras que el concreto húmedo tuvo un aumento del módulo de elasticidad de 50%. Al cambiarse de 24°C para 157°C, la conductibilidad térmica del hormigón de peso normal también aumenta, especialmente en el hormigón húmedo. La conductibilidad térmica del hormigón con agregado ligero es poco afectada.

## **2.6.- Consecuencias de los esfuerzos térmicos en losas de pavimento rígido**

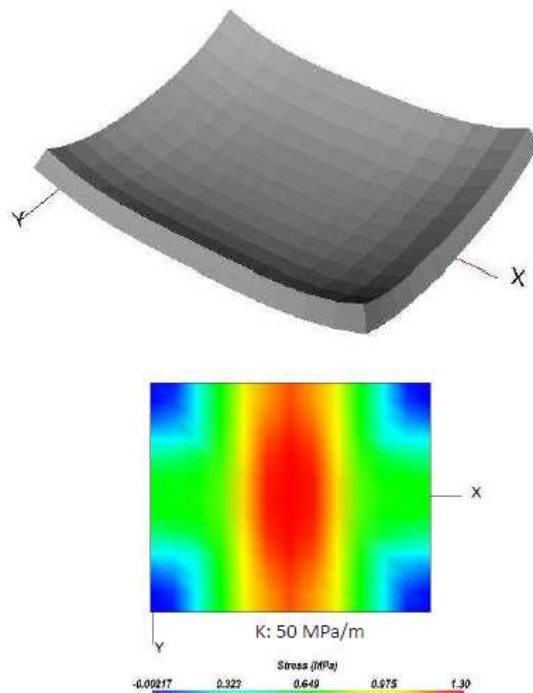
Si un cuerpo se ve sometido a la variación de la temperatura, sufre efectos de contracción, dilatación y alabeo, en este caso de las losas pues es el cuerpo del que hablamos. Si los esfuerzos a causa de la temperatura superan la resistencia a la tracción de la losa ésta se agrieta.

El pavimento rígido una vez puesto en uso debe soportar cargas de diferente magnitud, al presentar este alabeo sufre agrietamientos, fisuras que malogran el

mismo. Para poder clasificar el deterioro de los pavimentos en estudio revisaremos algunos conceptos.

- Fractura: Una abertura larga de ancho pequeño en el pavimento.
- Fisura: Una fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3 mm.
- Grieta: Una fractura, por lo general con ancho mayor de 3 mm.

El perjuicio que causan las grietas, fisuras para el pavimento rígido son un mal aspecto de las vías, desniveles, además de afectar la estructura. Las grietas generadas por el calor se distinguen fácilmente de las generadas por la contracción plástica del concreto, ya que estas últimas ocurren cerca de la superficie del concreto. Las grietas producidas por contracción ocurren a edades más tardías que las originadas por el calor.



***Figura 10: Tensiones en pavimento rígidos. Fuente: Diseño de pavimentos rígidos  
ICPA.***

Los espacios vacíos que se generan entre la losa y la superficie de apoyo debido al efecto de alabeo por temperatura y a la deformación plástica de la subrasante, entre otras, son puntos especiales para la acumulación de agua.

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son: esfuerzos debidos a cargas aplicadas y esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.

Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente en edades tempranas. Las grietas por contracción del concreto ocurren debido a restricciones. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas.

La temperatura ambiente afecta la velocidad de secado del concreto en estado fresco, así como la velocidad de endurecimiento; por otra parte, establece la longitud base durante las primeras horas, hasta que el concreto desarrolla cierta rigidez. A partir de esta longitud base los cambios de temperatura producen cambios volumétricos, y por consiguiente, un potencial agrietamiento.

Las losas de pavimentos colados en clima frío son menos susceptibles al agrietamiento que cuando el trabajo se efectúa en clima caliente, pues los cambios de temperatura afectan la longitud base, generalmente produciendo expansión que no es tan crítica como la contracción.

Las caídas fuertes de temperatura y humedad producen restricciones internas entre la superficie y la masa, y la masa interior del concreto. Mientras mayor sea la restricción a la contracción, o el número de éstas, mayor será el número de grietas.

Diferentes fuentes bibliográficas clasifican a la severidad del alabeo en función del máximo levantamiento en la esquina de las losas, cuando éstas no están fisuradas:

- » Alabeos menores a 2,5 mm, generalmente son considerados como aceptables.
- » Alabeos entre 2,5 y 5,0 mm, se sugiere repararlos para la mejora de la funcionalidad.
- » Alabeos superiores a 5,0 mm son severos y necesitan reparación inmediata.

En cuanto a pisos y pavimentos que ya presenten fisuras de esquinas, se clasifica en tres niveles:

- » Alabeo bajo – Sellar fisuras o no hacer nada: fisuras sin desprendimientos superficiales y ancho menor a 3 mm, juntas bien selladas, zona entre fisura y junta sin fisurar y sin escalonamientos considerables.
- » Alabeo moderado – Sellar fisuras o reparación en todo el espesor: cuando existe al menos: fisuras con desprendimientos moderados, fisuras no selladas con anchos entre 3 y 12 - 25 mm, material de sellado ineficiente, región entre fisura y junta moderadamente fisurada o presenta escalonamientos moderados.
- » Alabeo elevado – Reparación en todo el espesor: cuando existe al menos una de las siguientes condiciones: fisura con desprendimientos considerables, fisuras no selladas

con anchos superiores a 12 - 25 mm, región entre fisura y junta conteniendo dos o más quiebres o que presente hundimientos.

Entre las consecuencias tenemos:

### **Grietas térmicas**

Este tipo de fisuración aparece en forma longitudinal o transversal como consecuencia de la inhabilidad del concreto a redistribuir la tensión horizontal, tal efecto se produce sobre el ancho y la longitud del pavimento cuando las temperaturas varían. En este caso las grietas longitudinales aparecen cuando la tensión producida térmicamente en dirección transversal no puede ser distribuida adecuadamente en el pavimento, ésta suele aparecer como única grieta en el centro de la carpeta, en pavimentos de dos fajas o distancias de 3 a 4.5 metros en pavimentos más largos.

Las grietas transversales por acción térmica pueden comenzar a aparecer de 1 a 3 años de realizada la carpeta mientras que las longitudinales son más tardías, excepto que haya un problema de asentamiento por un mal tratamiento en la sub-base.

El crecimiento de las grietas ocurre como resultado de tres mecanismos uno de ellos son los cambios térmicos, una grieta pequeña durante el verano, en el invierno se abre por la contracción haciendo que el material se suelte en su interior y caiga, al llegar el verano se vuelve a dilatar produciendo que la misma se agrande por el material suelto en su interior, resultando una grieta mayor año tras año como consecuencia de la expansión térmica. Las grietas son normalmente térmicas y se presentan cada 6 metros y con un movimiento de 1/8 de pulgada.

### **Grietas de esquina**

Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal y que forma un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. Las causas son la falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.



*Figura 11: Grieta de esquina. Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica. Pavimentos T 004.*



*Figura 12: Grieta de esquina en pavimento rígido. Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica. Pavimentos T 004.*

## Grietas transversales

Grietas predominantemente perpendicular al eje de la calzada. Una de las causas es la retracción térmica que origina alabeos



*Figura 13: Grieta de transversal en pavimento rígido. Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica. Pavimentos T 004.*



*Figura 14: Grieta de transversal. Fuente: Sellado de juntas y grietas, correcta aplicación y evolución en Latinoamérica. Pavimentos T 004.*

### 3.1. Introducción

Las losas de pavimento rígido se especifican de acuerdo a su resistencia a flexión o módulo de ruptura, son de concreto de cemento portland, éste es una mezcla homogénea de agregados finos, gruesos, agua y cemento hidráulico, el espesor se determina de acuerdo con el tipo de tráfico que va a soportar entre otros no deben exceder los rangos establecidos de relación entre las dimensiones de la losa y el espesor.

El diseño de las losas una vez elegidas las dimensiones, sigue por el hormigón, donde los agregados deben cumplir ciertos requerimientos de calidad, ser proceso de ensayos para garantizar un buen hormigón, las proporciones de la mezcla se realizan con la dosificación del método AASHTO donde con ayuda de tablas siguiendo un procedimiento se llegan a obtener las proporciones para la elaboración del hormigón en el lugar de la obra.

Para la elaboración de las losas se arma un encofrado resistente, vaciado el hormigón, debe dárseles a las losas un fino acabado usando los materiales adecuados, seguido de un buen curado para que no se produzcan fallas tempranas en el concreto.

Expuestas las losas a la temperatura ambiente, rayos solares, comienza su reacción ante la variación de ésta, resultado que se muestra en la contracción, dilatación y alabeo, deformaciones de afectan a las losas formando grietas, fisuras y que ante el paso de las cargas dejan resultados perjudiciales. El comportamiento a seguir a las losas de pavimento rígido son las deformaciones que resultan de estos esfuerzos por temperatura.

### **3.2.- Bases del diseño del pavimento rígido**

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante.

En el caso de los pavimentos convencionales de concreto hidráulico los requisitos pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de suelo de la sub-rasante, las condiciones ambientales y cantidad de tráfico pesado. El objetivo deberá ser el poder obtener una condición de apoyo uniforme y una estructura de rodamiento que permita darle al usuario un manejo confortable durante toda su vida útil acorde a los lineamientos de diseño que se considere.

De acuerdo con el criterio de los métodos internacionales para el diseño de losas soportadas sobre el terreno, como el método AASHTO, el método PCA y elementos finitos, entre otros, empleados para el diseño de pavimentos de concreto y de pisos industriales, el concreto a emplearse en este tipo de losas será especificado en su resistencia a la flexión por tensión o módulo de ruptura (MR) como se conoce en México, en vez de la resistencia tradicional a la compresión ( $f_c$ ) que es comúnmente usado en otro tipo de estructuras de concreto.

### **3.3.-Losas de pavimento rígido**

Las losas son de concreto de cemento portland, cuentan con un espesor diseñado de acuerdo a cargas de tránsito que se encuentra en bibliografía especial. El espesor de

las losas vaciadas para el estudio presentes fue tomado como modelo del espesor de las losas en Yaguacua lugar de donde fueron traídos los agregados, sin dejar de lados los rangos de relación entre el espesor y las dimensiones.

### **3.4- El concreto**

Mezcla homogénea de cemento hidráulico, agregados finos y gruesos inertes, agua, con o sin aditivos y adiciones, que adecuadamente proporcionados y mezclados, genera una mezcla manejable durante un período de tiempo, posteriormente se fragua para que éste adquiera la resistencia necesaria. El Concreto Hidráulico debe cumplir con lo especificado en la norma correspondiente.

Un concreto puede ser cualquiera de varios materiales manufacturados, semejantes a la piedra, compuestos de partículas llamadas agregados que se seleccionan y clasifican en tamaños especificados. El termino concreto, cuando se usa sin adjetivo modificador, de ordinario indica el producto formado por una mezcla de cemento portland, arena grava o piedra triturada, y agua.

Para el diseño de una mezcla de concreto, los ingredientes se especifican para alcanzar objetivos específicos, tales como resistencia, durabilidad, resistencia a la abrasión, bajo cambio de volumen y costo mínimo.

Los ingredientes se mezclan para asegurarse que los agregados gruesos, o de gran tamaño se encuentren uniformemente distribuidos, que los agregados finos llenen los huecos entre los agregados más grandes y que todos se encuentren cubiertos por el cemento. Antes que comience la acción del cemento la mezcla es plástica y se puede moldear para darle formas deseadas. (Merrtt, kent y rickttes, 2005).

Son concretos capaces de resistir esfuerzos a flexión. Son ideales para condiciones de carga comunes de una estructura de concreto soportada sobre el suelo. Tiene una vida útil mayor que un concreto diseñado a la compresión, ya que está diseñado para resistir los esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la flexión de las losas.

La norma del Instituto Americano del Concreto ACI 116-R define un concreto masivo como «una masa de concreto cuyas dimensiones son lo suficientemente grandes para que obliguen a poner especial atención a la generación de calor debida a la hidratación del cemento y a controlar los cambios volumétricos de la estructura, con el objeto de minimizar los agrietamientos».

### **3.5.- Periodo de diseño de las losas de pavimento rígido**

#### **3.5.1.-Modulacion de las losas**

Con el objetivo de controlar la fisuración del concreto, mantener la capacidad estructural y la calidad del pavimento con un bajo costo anual y así mismo para dividir el pavimento en tramos lógicos, se deben tener en cuenta dos criterios fundamentales:

- La longitud de la losa ( $L$ ) debe ser máximo veinticuatro veces el espesor ( $e$ ) y este mínimo 20 veces.  $L = 24 * e$
- La relación de esbeltez debe estar comprendida entre el rango (1-1.4) por lo tanto  $L/a$ , donde  $a$  es el ancho de la losa debe estar dentro de este rango.

### **3.5.2.- Hormigón**

El hormigón de cemento es una mezcla de cemento Portland (pudiendo ser corriente o de alta resistencia), con agregados pétreos (áridos) gruesos y finos, agua y eventualmente aditivos, sometida a un proceso de endurecimiento. Los hormigones se clasifican según su resistencia a la compresión, controlada en probetas de ensayos de hormigón fresco, o en testigos extraídos del pavimento. La confección de las probetas se efectúa en conformidad a la norma NB ABC, el ensaye de probeta y testigos se efectúa de acuerdo a la norma NB ABC. De conformidad a la norma NB ABC los tipos normales de hormigones con su resistencia a flexo tracción son los siguientes:

- Para calzada, calles con alto tráfico 42 Kg/cm<sup>2</sup>
- Para calzada, calles de tránsito medio y bajo 40 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Para pasajes conectados en ambos extremos 40 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Para pasaje ciego en su último tramo, conectado a la calle o pasaje 38 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **3.5.3.- Materiales**

Para la construcción de pavimentos rígidos es un punto muy importante los materiales a utilizar. El transporte, almacenamiento, calidad y características en general de cada uno de ellos, se debe tener en cuenta a la hora de acometer proyectos. Por esto, tanto en las obras, como en las plantas productoras del hormigón se deben seguir especificaciones que están regidas tanto por normas nacionales como internacionales.

A continuación se desglosa un detalle de todos los materiales a utilizar en la losa. La presente especificación se considera complementaria a las especificaciones particulares para los distintos elementos de la carretera y en todo caso específica para

los pavimentos rígidos, de manera que las especificaciones de hormigón para pavimento rígido pueden ser diferentes a las especificaciones de hormigones estructurales.

### 3.5.3.1.- Cemento Portland

El material ligante a utilizar será Cemento Portland Normal, de marca aprobada que reúna estrictamente las condiciones exigidas por las Normas correspondientes, se efectuara ensayo de peso específico y finura del cemento.

### 3.5.3.2.-. Calidad del cemento en el momento de usarlo

CEMENTO PORTLAND EL PUENTE IP - 30				NORMA BOLIVIANA IP - 30		
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	PPF	%	4.21	< 7		
	SiO <sub>2</sub>	%	30.62			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4.96			
	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2.83			
	CaO	%	51.33			
	MgO	%	2.16	< 6.0		
	SO <sub>3</sub>	%	2.25	< 4.0		
	R.I.	%	11.45			
	Cal Libre	%	1.12			
ESPECIFICACIONES FISICAS	BLAINE	cm <sup>2</sup> /g	4786	> 2600		
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min	2:14	> 60	
		FINAL	Hrs	4:16	< 12:00	
	EXPANSION LEE CHATELIER	mm	0	< 8		
	RELACION a/c	ml/g	0.574			
	FLUIDEZ	%	109			
	RESIDUO EN MALLAS	200 M	% Ret	0.87		
		325 M	% Ret	10.94		
	PESO ESPECIFICO	g. / l.	3.23			
	RESISTENCIA A COMPRESION	3 DIAS	Mpa	20.1	> 10	
7 DIAS		Mpa	26.9	> 17		
28 DIAS		Mpa	24.5	> 30		

**Tabla 2: Especificaciones del cemento. Fuente: Manual de hormigón.**

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

#### **3.5.4.- Agregado fino para hormigón**

##### **3.5.4.1.- Origen, naturaleza y características**

El agregado fino a emplearse estará constituido por arenas naturales o artificiales o una mezcla de ellas. Arenas naturales son aquellas cuyas partículas son redondeadas y provienen de la disgregación de las rocas por la acción de los agentes naturales.

Arenas artificiales son las originadas por la trituración de las rocas mediante equipo de chancado. Se dará preferencia al uso de arenas naturales de origen. Las arenas presentarán partículas duras, durables y limpias, libres de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o laminares, álcalis, arcillas, materias orgánicas y deletéreas.

##### **3.5.4.2.-Pureza del agregado fino.**

Sustancias perjudiciales	% del peso
Partículas de arcilla	1
Impurezas orgánicas	Máximo placa 3
<b>NOTA:</b> No se aplica a los áridos de yacimiento.	
Material más fino que el tamiz 200 (75 $\mu$ m)	5

**Tabla 3: Sustancias perjudiciales para el árido fino. Fuente: Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.**

### 3.5.4.3.-Granulometría del agregado fino

La gradación precedente representa los límites extremos que determinarán si el agregado fino es adecuado para emplearse. El Constructor utilizará agregados obtenidos directamente o por mezclas de otros, cuya gradación durante toda la ejecución de los trabajos, sea razonablemente uniforme y no sujeta a los porcentajes extremos o límites de granulometría especificada. La verificación granulométrica será diaria. A tal efecto, el Constructor propondrá una gradación que utilizará en el curso de los trabajos. El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y unos milímetros (9.51 mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

TAMIZ		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Núm. 4	4.75 mm	95-100
Núm. 8	2.36 mm	80-100
Núm. 16	1.18 mm	50-85
Núm. 30	600 $\mu$ m	25-60
Núm. 50	300 $\mu$ m	10-30
Núm. 100	150 $\mu$ m	2-10
Núm. 200	75 $\mu$ m	4 máximo

**Tabla 4: Rangos de granulometría del agregado fino. Fuente: Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.**

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla excepto en los siguientes casos:

- Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables, en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.
- El porcentaje de material que pasa la malla #200 está modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente tabla:

Límite Líquido	Índice de Plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (#200), en porcentaje.
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5-10	16.0
Hasta 25	10-15	6.0
Hasta 25	15-20	4.0
Hasta 25	20-25	1.0
25-35	Hasta 5	16.0
25-35	5-10	14.0
25-35	10-15	11.0
25-35	15-20	8.0
25-35	20-25	1.0
35-45	Hasta 5	15.0
35-45	5-10	9.0
35-45	10-15	6.0
35-45	15-20	2.0
35-45	20-25	1.0
45-55	Hasta 5	9.0
45-55	5-10	8.0
45-55	10-15	5.0
45-55	15-20	4.0
45-55	20-25	1.0

**Tabla 5: Porcentaje de material que pasa por el tamiz #200 según los límites de consistencia. Fuente: Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.**

La arena no deberá tener un retenido mayor de cuarenta y cinco por ciento (45%), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Equivalente de arena 80% máximo.
- Módulo de finura 2.30 mínimo y 3.10 máximo.
- Intemperismo Acelerado 10% máximo (Empleando sul. sodio).

Al ser modificado el porcentaje de material que pasa la malla #200 según los límites de consistencia el equivalente de arena también debe de ser modificado.

#### **3.5.4.4.- Toma de muestras y métodos de ensayo**

En específico para el árido fino se realizara el siguiente ensayo:

- Para la determinación del peso específico y absorción de agua en los áridos finos: Véase NB ABC.
- Ensayo granulométrico. Véase NB ABC.

Es fundamental la verificación continua de la humedad de la arena y la corrección apropiada de las mezclas.

#### **3.5.5.- Agregado grueso para hormigón**

##### **3.5.5.1.- Origen, naturaleza y características**

El agregado grueso será grava rodada. Se compondrá de partículas duras, resistentes y durables libres de cualquier cantidad perjudicial de capas o materias adheridas, arcilla

y materias extrañas. Del origen se especifica en el capítulo 4, en general corresponden al mismo material usado en Yaguacua.

### 3.5.5.2.- Pureza del agregado grueso

El % permitido de material más fino que el tamiz 200 en los áridos gruesos para cualquier hormigón es inferior o igual que 1%.

Indicadores de Calidad	Cantidad máxima del peso total de la muestra (%)
Partículas de arcilla	Inferior o igual a 0,25%
Cantidad de partículas planas y alargadas: - Cuando el árido proviene de rocas sedimentarias - Cuando el árido proviene de rocas ígneas	Inferior o igual a 10 % Inferior o igual a 20%

**Tabla 6: Sustancias perjudiciales para el árido grueso. Fuente: Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.**

### 3.5.5.3.-Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso estará graduado de manera apropiada, para evitar la segregación se recomienda un tamaño máximo no mayor a 1 1/2" (28,1 mm).

Límites de la fracción (mm)		Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	% Pasado
Nominal	Equivalente		
75-40	76-38	101,6	100
		76,2	90-100
		63,5	35-70
		38,1	0-15
		19,1	0-5

65-40	63-38	76,2	100
		63,5	90-100
		50,8	35-70
		38,1	0-15
		19,1	0-5
40-20	38-19	50,8	100
		38,1	90-100
		25,4	20-55
		19,1	0-15
		9,52	0-5
40-10	38-13	50,8	100
		38,1	90-100
		19,1	20-60
		12,7	0-15
		9,52	0-5
25-10	25-13	38,1	100
		25,4	90-100
		19,1	20-55
		12,7	0-10
		9,52	0-5
25-5	25-5	38,1	100
		25,4	90-100
		12,7	25-60
		4,76	0-10
		2,38	0-5
20-10	19-10	25,4	100
		19,1	90-100
		12,7	20-55
		9,52	0-15
		4,76	0-5
20-5	19-5	25,4	100
		19,1	90-100
		9,52	20-55
		4,76	0-10
		2,38	0-5
13-5	13-5	19,1	100
		12,7	90-100
		9,52	40-70
		4,76	0-15
		2,38	0-5
10-5	10-5	12,7	100
		9,52	85-100
		4,76	15-35
		2,38	0-10
		1,19	0-5

**Tabla 7: Granulometría de los áridos gruesos. Fuente: Especificaciones de construcción de pavimentos de concreto hidráulico.**

### 3.5.5.4.-Toma de muestras y métodos de ensayo

En el caso del árido grueso se realizarán los ensayos siguientes:

- Para la toma de muestra: Véase Norma ABC ASTM D854 AASHTO T 100
- Para la determinación del peso específico absorción de agua en los áridos gruesos: Véase Norma ABC. ASTM D854 AASHTO T 100.

### 3.5.6.- Agua para hormigón

El agua a utilizar en la preparación del hormigón y en todo otro trabajo relacionado con la ejecución del pavimento será razonablemente limpia y libre de sustancias perjudiciales al hormigón, preferentemente potable.

A los fines de conservar la limpieza y pureza del agua, se utilizará para su extracción y conducción, elementos adecuados para disponer de ella en el sitio en que va a usarse, libre de sustancias extrañas que puedan ser arrastradas por la misma.

TIPO DE IMPUREZA	VALOR MÁXIMORECOMENDADO	
	Carbonosos y bicarbonosos de sodio y potasio	1000
Cloruros		
-Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas	20000	ppm
-Concreto pretensado	500	ppm
-Estructuras con elementos galvanizados y de aluminio	1000	ppm
Sulfato de sodio	10000	ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400	ppm
Cloruro de magnesio	40000	ppm
Cloruro de calcio	30000	ppm
Sales de Hierro	40000	ppm

Sulfato de magnesio	25000	ppm
Sales de magnesio estaño, zinc, cobre y plomo	500	ppm
Sulfito de sodio	100	ppm
Agua de mar		
-Para concreto no reforzado	35000	ppm
-Para concreto pretensado o reforzado	No se recomienda	
PH	6 a 8	
Ácidos mangánicos (ácido sulfúrico)	10000	ppm
Hidróxido de sodio (por peso de cemento)	0.50	%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento)	1.20	%
Aguas sanitarias	20	ppm
Azúcar	500	ppm
Partículas en suspensión	2000	ppm
Aceite mineral (por peso de cemento)	2	%
Agua con algas	No se recomienda	

**Tabla 8: Valores máximos recomendados de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado para concreto. Fuente: Manual de hormigón.**

### 3.5.7.- Control del Concreto hidráulico

#### 3.5.7.1.-Resistencia a la flexión

Se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada Módulo de Ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 3.18 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Se deben elaborar por lo menos dos (2) viguetas por edad de acuerdo con la norma NB ABC. El ensayo de resistencia a flexión se debe realizar usando la viga simple con carga en los tercios de acuerdo con la norma NB ABC.

### **3.5.7.2.-Resistencia a la compresión**

Se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $f'c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas sobre especímenes de mortero o de concreto; a menos que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm, en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Se deben tomar por lo menos dos (2) cilindros por edad simultáneamente con la viguetas de flexión de acuerdo con la norma NB ABC. Este ensayo servirá solamente como un parámetro de correlación entre compresión-flexión y en ningún caso las mediciones de resistencia a la compresión reemplazarán las mediciones de resistencia a la flexión para el recibo a satisfacción de las obras.

### **3.6.- Dosificación del hormigón**

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos.

La dosificación debe basarse en múltiples factores tales como:

- 1) Que elementos se van a vaciar.
- 2) Que condiciones ambientales deberán soportar (humedad).
- 3) Que materiales.
- 4) procedimientos de mezclado.
- 5) Colocación.
- 6) Curado se van a emplear en la obra.

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente.

La dosificación del hormigón será con la norma AASHTO, es la determinación de la combinación más económica y práctica de los agregados disponible, cemento y agua que producirá una mezcla trabajable con un endurecimiento adecuado.

Las determinaciones mínimas de laboratorio que permitirán el proporcionamiento eficiente de la mezcla son granulometría, peso específico, % de absorción.

Los pasos que se siguen para la dosificación por la norma AASHTO son:

1. De la tabla 7 se encuentra la relación A/C.
2. De la tabla 8 se encuentra la relación A/C en función de la resistencia a la compresión a los 28 días.
3. De los pasos 1 y 2 se asume el menor valor.
4. De la tabla 9 se determina el asentamiento en función del tipo de construcción.
5. De la tabla 10 se determina el tamaño máximo del agregado en función del tipo de construcción.
6. De la tabla 11 se estima el porcentaje de arena del volumen absoluto total del agregado y también del agua a utilizar por m<sup>3</sup> de hormigón.
7. Posteriormente se va a la tabla 12 y se procede a corregir en el módulo de fineza de 2.75 a 2.35 que tenemos.
8. Contenido de cemento = agua neta / relación A/C.
9. Volumen absoluto = agua + cemento / Peso específico del cemento.
10. Volumen absoluto del agregado total = 1000 – Volumen absoluto.
11. Volumen absoluto de la arena = % arena \* 10. Volumen absoluto del agregado total.
12. Volumen absoluto del agregado grueso = Volumen absoluto - Volumen absoluto de la arena.
13. Arena para m<sup>3</sup> = Volumen absoluto de la arena \* Peso específico de la arena.
14. Grava para m<sup>3</sup> = 12. Volumen absoluto del agregado grueso \* Peso específico del agregado grueso.
15. El porciones de mezcla:
 

Cemento/ cemento	Arena/ Cemento	Grava / Cemento
------------------	----------------	-----------------

TIPO O LOCALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	Climas, severos o moderados, grandes variaciones de temperaturas lluvias y largos periodos de heladas o frecuentes heladas o deshielos.										Clima benigno, lluvioso y semiárido, rara vez nieves o heladas.									
	Secciones delgadas.				Secciones medias				Secciones gruesas y constantes en masa.		Secciones delgadas.				Secciones medias				Secciones gruesas y constantes en masa.	
	Reforzado		Simple		Reforzado		Simple				Reforzado		Simple		Reforzado		Simple			
en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	en peso	Lts./saco	
A. Al nivel del agua en estructuras hidráulicas o expuestas al agua, o porciones de estructuras donde es posible la saturación completa o intermitente, pero no donde la estructura está continuamente sumergida. En agua del mar. En agua dulce.	0.44	19	0.49	21	0.49	21	0.53	23	0.53	23	0.44	19	0.49	21	0.49	21	0.55	24	0.53	23
	0.49	21	0.53	23	0.53	23	0.58	25	0.58	25	0.49	21	0.52	23	0.53	23	0.58	25	0.58	25
B. Porceiones de estructuras hidráulicas o expuestas al agua, a cierta distancia del nivel del agua, pero sujetas a frecuentes humedecimientos. En agua del mar. En agua dulce.	0.49	21	0.53	23	0.53	23	0.53	23	0.53	23	0.49	21	0.58	25	0.58	25	0.62	27	0.62	27
	0.53	23	0.58	25	0.58	25	0.58	25	0.58	25	0.53	23	0.62	27	0.62	27	0.67	29	0.67	29
C. Estructuras expuestas generalmente a la intemperie, edificios y porciones de puentes no incluidos en los grupos anteriores.	0.53	23	0.58	25	0.58	25	0.62	27	0.62	27	0.53	23	0.62	27	0.62	27	0.67	29	0.67	29
D. Inmersión total y continua. En agua del mar. En agua dulce.	0.53	23	0.58	25	0.58	25	0.62	27	0.62	27	0.53	23	0.58	25	0.58	25	0.62	27	0.62	27
	0.58	25	0.62	27	0.62	27	0.67	29	0.67	29	0.58	25	0.62	27	0.62	27	0.67	29	0.67	29
E. Hormigón colocado en agua.	*	*	*	*	0.49	21	0.49	21	0.49	21	*	*	*	*	0.49	21	0.49	21	0.49	21
F. Losas de Pavimentos: Losas de desgaste. Losas de base.	0.49	21	0.53	23	*	*	*	*	*	*	0.53	23	0.58	25	*	*	*	*	*	*
	0.58	25	0.62	27	*	*	*	*	*	*	0.62	27	0.67	29	*	*	*	*	*	*
G Caso especial: Para hormigón no expuesto a la intemperie, tal como el empleado en interiores de edificios y estructuras enteramente bajo tierra, no hay riesgos de acción de la intemperie y se elegirá la relación agua/ cemento atendiendo solo a los requisitos de resistencia y trabajabilidad.																				

**Tabla 9: Relaciones agua / cemento netas para varios tipos de construcción y condiciones de clima**

Relación agua/cemento en peso	Litro de agua por saco de cemento	Resistencia a los 28 días en Kg/cm <sup>2</sup> .
0,44	18,9	352
0,49	20,8	316
0,53	22,7	281
0,56	24,6	253
0,62	26,5	232
0,67	28,4	210
0,71	30,3	197

**Tabla 10: Relaciones agua cemento para diferentes resistencias.**

Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de fundación reforzados	13	5
Zapatas simples	10	3
Losas. Vigas y marcos reforzados	15	8
Columnas de edificios	15	8
Pavimentos	8	5
Construcción de gran volumen	8	3

**Tabla11: Asentamientos recomendables para varios tipos de construcción.**

Dimensión mínima de la sección	Tamaño máximo del agregado (pulgadas)						
	Muros, vigas y columnas reforzadas		Muros sin refuerzo	Losas con mucho refuerzo		Losas con poco o sin refuerzo	
6,35-12,7	1/2	3/4	3/4	3/4	1	3/4	1 1/2
15,24-27,94	3/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2		1 1/2	3
30,48-73,66	1 1/2	3	3	1 1/2	3	3	
76,2 o mas	1 1/2	3	6	1 1/2	3	3	6

**Tabla 12: Tamaño máximo de agregados recomendados para diversos tipos de construcción.**

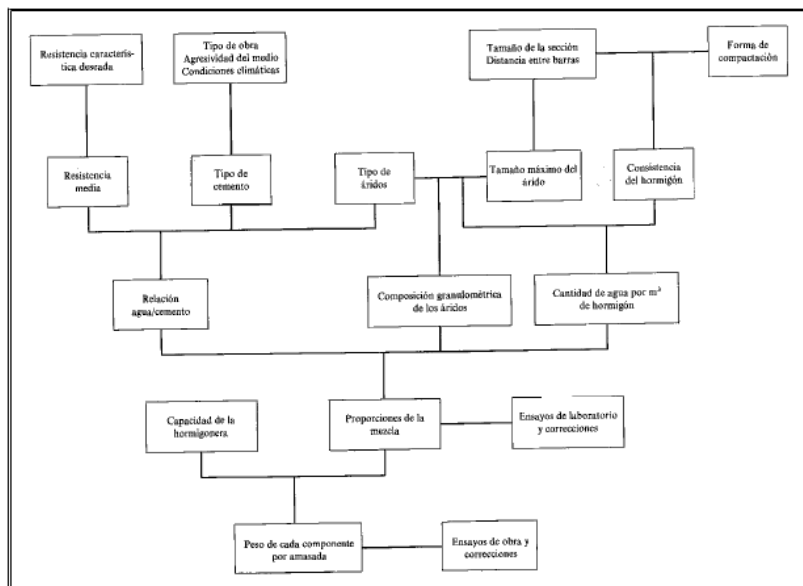
Tamaño máximo del agregado	Agregado redondeado grueso		Agregado anguloso grueso	
	Porcentaje de arena sobre agregado total en volumen absoluto	Contenido neto de agua por m <sup>3</sup> en Kilos	Porcentaje de arena sobre agregado total en volumen absoluto	Contenido neto de agua por m <sup>3</sup> en Kilos
1/2	51	198	56	213
3/4	46	183	51	198
1	41	178	46	192
1 1/2	37	166	42	180
2	34	157	39	172
3	31	147	36	163
6	26	130	31	145

**Tabla 13: Contenido de agua y arena por metro cubico de hormigón**

Cambios de las condiciones	Efectos de los valores	
	Por ciento de arena	Contenido unitario de agua
Por cada 0,05 de aumento o disminución relación agua / cemento	$\pm 1$	0
Por cada 0,1 de aumento o disminución en el asentamiento	$\pm 0,5$	0
Por cada pulgada de aumento o disminución en el asentamiento		$\pm 0,3 \%$
Arena manufacturada	$\pm 2$ a 3	más 4,5 a 6,8 Kg
Para hormigón menos trabajable en pavimentos	menos 3	menos 3,6 Kg

**Tabla 14: Correcciones para otras condiciones.**

El cuadro anterior está confeccionado para una relación de agua cemento de 0.57, 3' de asentamiento y arena natural con módulo de fineza de 2.75.



**Tabla 15: Proceso para la definición de la dosificación de un hormigón.**

### **3.7.- Elaboración de hormigón en obra**

El control del proporcionamiento de todos los materiales para elaborar la mezcla de concreto fresco, incluyendo el agua, deberá realizarse en peso. En general, la elaboración del hormigón cumplirá con lo siguiente:

El cemento se transportará hasta el pie de la hormigonera en su envase original del que se lo volcará directamente al alimentador del tambor, o bien será extraído de los silos o tolvas de depósito en las cantidades requeridas para cada pastón.

La hormigonera no funcionará con una carga superior a la indicada como máxima por su fabricante, ni tampoco muy por debajo de la misma, pues ambos casos conducen a muestras deficientes.

Los materiales se mezclarán hasta que el cemento se distribuya uniformemente y el hormigón adquiera un color uniforme, durante un tiempo de 1 min a 1 ½ min contados a partir del instante en que se ha producido la carga completa de los materiales en el tambor de la hormigonera. La hormigonera funcionará a una velocidad constante.

El agua se incorporará automáticamente al tambor de la hormigonera, en la cantidad fijada por la respectiva fórmula de dosificación, con los reajustes debidos al contenido de humedad de los agregados.

#### **3.7.1.- Equipo de pavimentación con moldes**

En los casos en los que sea necesaria la utilización de reglas o rodillos vibratorios, los moldes laterales serán maderas de altura igual o superior al espesor de los bordes de la losa, rectos, libres de toda ondulación y en su coronamiento no se admitirá desviación alguna. El dispositivo de unión entre las secciones sucesivas o unidades será tal que impida todo movimiento o juego en tales puntos de unión.

Los moldes tendrán una superficie de apoyo o base, una sección transversal y una resistencia, que les permita soportar sin deformaciones o asentamiento las presiones originadas por el hormigón al colocarse y el impacto y vibraciones de los pisones, reglas vibratoras y equipo mecánico de distribución y terminación que pudieran emplearse.

### **3.7.2.- Equipo vibrador**

El dispositivo vibrador deberá estar constituido por una o más unidades de manera que la amplitud de vibración resulte sensiblemente uniforme en todo el ancho de la calzada o faja que se va a hormigonar entre moldes. Cuando se utilicen más de una unidad vibratora, las mismas se ubicarán espaciadas entre sí, siendo su superación no mayor que el doble del radio del círculo dentro del cual la vibración de la unidad es visiblemente efectiva.

### **3.7.3.- Frotachador**

Frotas destinadas al froteado de la superficie del pavimento. Tendrán un mango largo articulado que permita su manejo desde los puentes de servicio o fuera del pavimento y la hoja tendrá un largo de al menos 1,50 m, por 15 cm de ancho.

#### **3.7.4.- Cepillo texturizador**

El Constructor dispondrá en obra de al menos un cepillo texturizador aprobado por el inversionista. El cepillo será metálico de aluminio o magnesio, con dientes acerados. No se permitirá el uso de cepillos de plástico, escobas u otros implementos no especializados para el texturizado de pavimentos de hormigón de carreteras.

#### **3.7.5.- Herramientas para redondear bordes de juntas y del pavimento**

Herramientas destinadas a redondear bordes de las juntas y del pavimento. Las mismas llevarán un mango adecuado para su manejo y serán metálicas.

#### **3.7.6.- Mezclado del hormigón**

Si el mezclado se efectúa en mezcladoras de acción gravitacional (caída libre). Garantizar el orden adecuado y la alimentación de la mezcladora es uno de los deberes del jefe de producción, lo cual debe hacer sistemáticamente. El operador del camión de hormigonera debe garantizar el tiempo adecuado de mezclado del hormigón, chequear el estado de limpieza de la tambora de la hormigonera previo al mezclado y al concluir el trabajo.

El técnico de laboratorio debe verificar visualmente el estado de homogeneidad de la mezcla una vez concluido el mezclado de la hormigonera, que la mezcladora tenga efectuado el ensayo de uniformidad de mezclado (K.U.M.). Tener el libro de registro o expediente de cada equipo. Además de efectuar el ensayo de consistencia de la

mezcla al concluir el mezclado (cono de Abrams o consisto metro VoBo). Esto debe realizarlo todos los días cada vez que realicen una amasada.

### **3.7.7.- Curado del hormigón**

El objetivo del curado del hormigón es dar a éste las condiciones necesarias para favorecer la hidratación del cemento y reducir las contracciones excesivas debidas a las condiciones ambientales (temperatura, viento, humedad, etc.), las cuales pueden llevar al desarrollo de fisuras. Especialmente, se debe evitar la evaporación rápida del agua superficial del hormigón, la que depende principalmente del viento, y en menor proporción de la temperatura ambiente, de la temperatura del hormigón, y de la humedad relativa del aire.

El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m<sup>2</sup>), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente un milímetro (1 mm), que deje una membrana impermeable y consistente de color claro que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco.

## **3.8.- Periodo de desempeño de las losas de concreto hidráulico**

### **3.8.1- Comportamiento del pavimento rígido ante la variación de la temperatura**

La fisuración de un hormigón se produce cuando las tensiones solicitantes sobrepasan la resistencia del hormigón. Debido a que la resistencia a tracción del hormigón es

más baja, comparativamente, que la resistencia a compresión o al corte, generalmente la fisuración deriva de las tensiones de tracción.

Uno de los orígenes de las tensiones de tracción puede ser los cambios de volumen en el hormigón endurecido, siendo sus orígenes a causas de variaciones de temperatura. Otros de los fenómenos encontrados en esta investigación es el desplazamiento horizontal que experimentan las losas con este tipo de falla (levantamiento de losas).

### **3.8.2.- Gradientes y alabeos térmicos**

Se demuestra la existencia generalizada en todos los pavimentos de una considerable deformación de alabeo cóncavo de las losas, que resulta en una falta de apoyo de sus bordes. Esta condición se revierte solamente durante las horas de alta radiación solar. Se ha encontrado que para lograr el apoyo efectivo de los bordes de la losa es necesario que se produzca un fuerte calentamiento de la superficie (gradiente positivo “de inicio de apoyo”).

En condiciones de gradiente positivo superior al de “inicio de apoyo”, las losas normalmente están dilatadas e impedidas de girar en sus bordes transversales, adquiriendo por ello una forma cilíndrica de bordes longitudinales apoyados.

La forma convexa tradicional puede darse sólo si los bordes transversales están libres de girar, que es la situación cuando las temperaturas medias de un día soleado son suficientemente bajas.

En vista de lo anterior, el alabeo cóncavo con apoyo parcial localizado en la parte central de la losa y con mínima colaboración de las losas contiguas, debido a juntas relativamente más abiertas, resultan ser las condiciones de borde prevalecientes en las

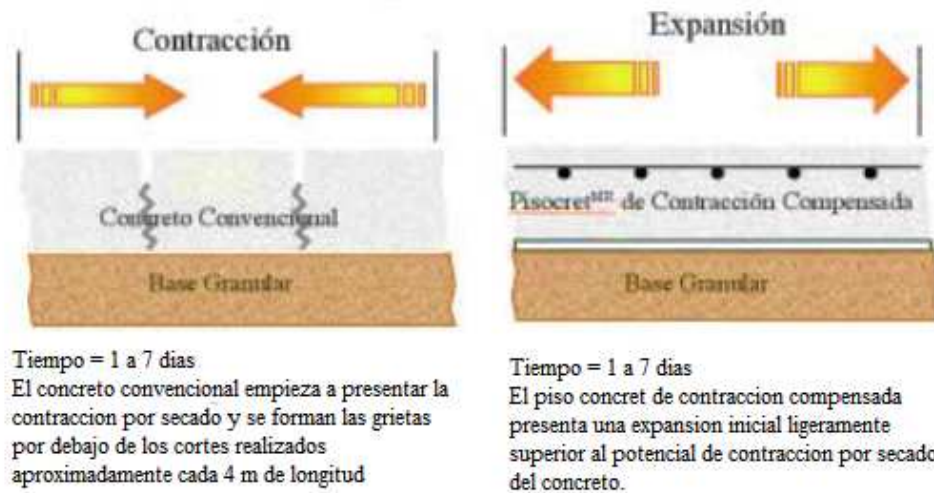
losas de pavimento; lo que difiere de las suposiciones de completo apoyo habitualmente consideradas en el diseño de pavimentos de hormigón. Por el contrario la situación representada por la forma “cilíndrica” hacia abajo se considera comparativamente menos perjudicial. Dicha condición de apoyo explica en forma satisfactoria el patrón de fisuración que se observa en algunos pavimentos relativamente nuevos sin signos de bombeo. Las fisuras usualmente se desarrollan transversalmente al medio de la losa partiendo desde los bordes longitudinales.

### **3.8.3.- Contracción y dilatación térmica de las losas de pavimento rígido**

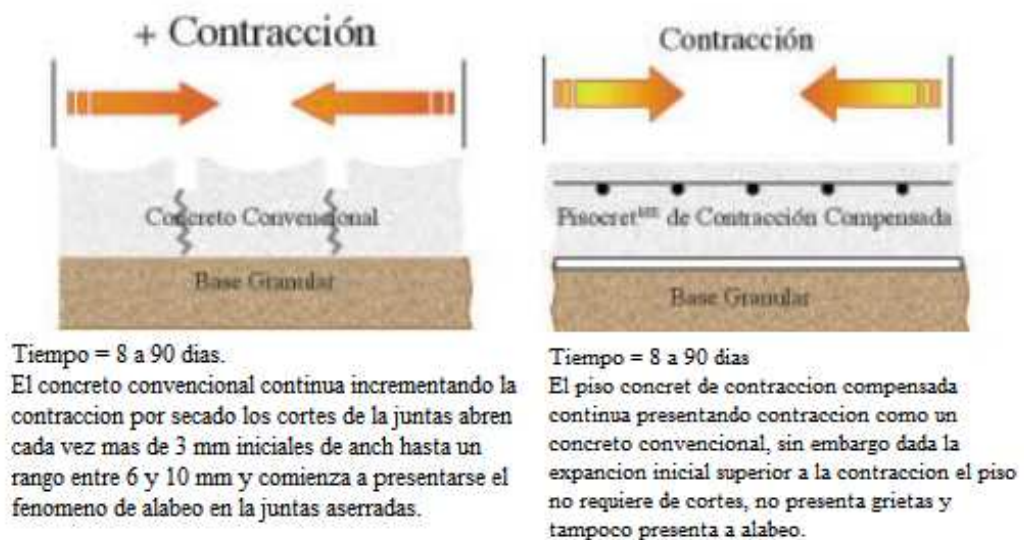
Es sabido que existen movimientos horizontales y que son producidos por las variaciones de temperatura. Tal cual ocurre con la mayoría de los materiales, el hormigón se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría, siendo éste un material frágil, en el sentido que no avisa su deformación, rompiéndose bruscamente, debido a su agrietamiento interno.

El alabeo, elevación abrupta de la superficie del pavimento son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta.

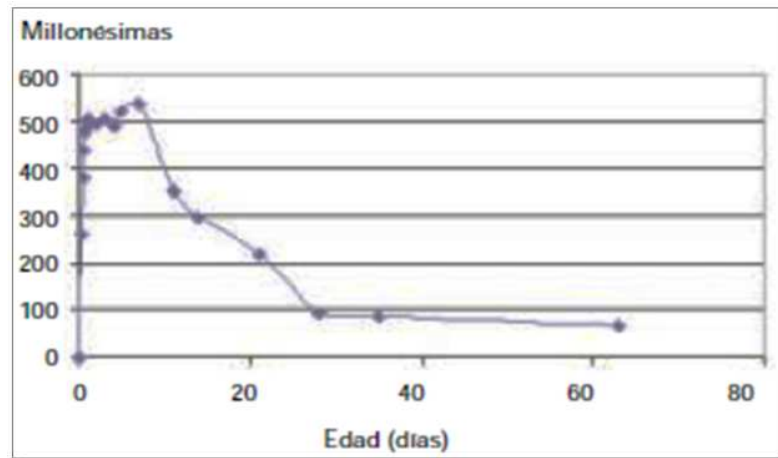
Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas. Así mismo las variaciones térmicas influyen en el deterioro cuando la longitud de las losas es excesiva.



**Figura 15: Comparativos del desempeño. Fuente: Pisos industriales Construcción y tecnología.**



**Figura 16: Contracción y dilatación. Fuente: Pisos industriales Construcción y tecnología.**



*Figura 17: Evaluación del comportamiento de acuerdo con la norma. Fuente: ASTM C 878 (Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete).*

## **4.1. Caracterización de los materiales a ser usados en las losas**

### **4.1.1.- Características de los agregados**

Deben cumplir con las mismas características y bondades de los agregados para elaborar concreto convencional. Se usan agregados naturales o manufacturados o una mezcla de ellos. Deben ser densos, durables, sin presencia importante de arcilla, limos, polvo, mica, materia orgánica u otros contaminantes. (ASTM C 125 y ACI 221 R).

#### **4.1.1.1.- Origen de los agregados**

Los agregados corresponden a los usados en la obra “Construcción Camino Ruta 9 Yaguacua 1ra sección” donde actualmente se está aplicando pavimento rígido, del banco del origen se conoce que el agregado fino es del banco de Caiza y el agregado grueso de Agua rica. Los agregados fueron transportados hasta el lugar donde se vació las losas, mi domicilio, en un vehículo particular.



*Figura 18: Yaguacua.*



*Figura 19: Pavimentado en Yaguacua.*



*Figura 20: Agregados de pavimento en Yaguacua.*

#### **4.1.1.2.- Ensayos aplicados a los agregados**

De los ensayos que se realizaron a los agregados tenemos:

#### 4.1.1.2.1.-Ensayo granulométrico

Se realizó para cada agregado este ensayo, que consiste básicamente en determinar la granulometría que presenta cada uno, se seleccionó una muestra del agregado y por medio de unos tamices de aberturas indicados en la tabla 16, se sometió a vibrador mecánico; una vez terminado este proceso se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz, con los que se calcularon los porcentajes retenidos acumulados y el % que pasa del total de la muestra de cada tamiz por las siguientes formulas.

$$\% \text{ retenido acumulado} = (\text{Peso retenido acumulado} / \text{Peso muestra}) * 100$$

$$\% \text{ que pasa del total} = 100\% - \% \text{ retenido acumulado}$$

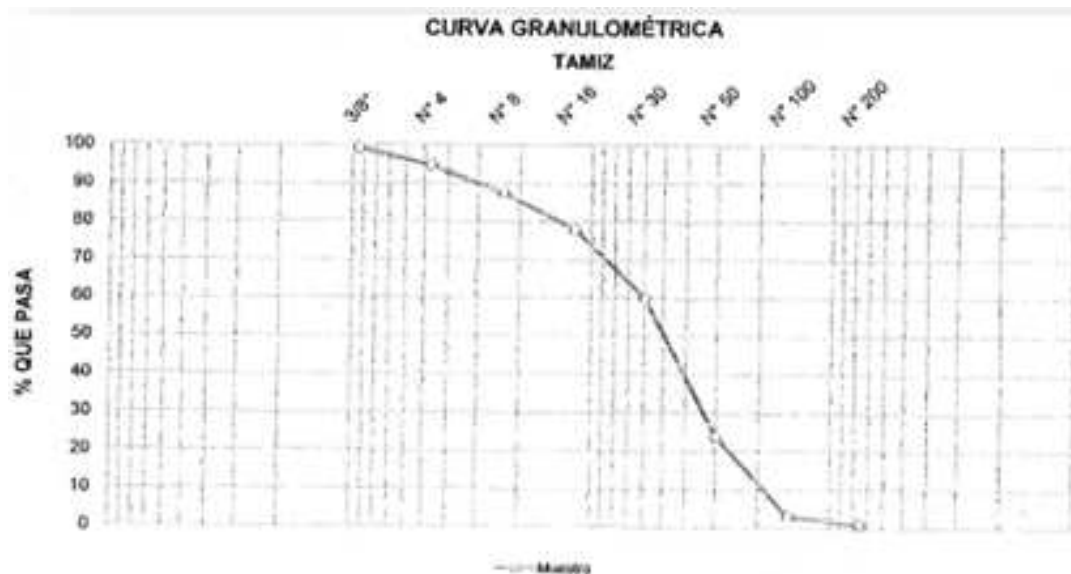
$$\text{Módulo de finura del agregado fino} = (\text{Suma } \% \text{ Peso retenido } 3/8'', \text{N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100) / 100$$

*Módulo de finura = 2.53*

*Peso muestra = 500 grs.*

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO		% QUE PASA DEL TOTAL
			gr	%	
	<b>mm</b>	<b>gr</b>			
3/8''	9.52	3	3	0.6	99.4
Nº 4	4.75	23	26	5.2	94.8
Nº 8	2.36	36.1	62.1	12.4	87.6
Nº 16	1.18	48.1	110.2	22	78
Nº 30	0.6	89.7	199.9	40	60
Nº 50	0.3	180.6	380.5	76.1	23.9
Nº 100	0.15	104.1	484.6	96.9	3.1
Nº 200	0.075	10.1	494.7	98.9	1.1

*Tabla 16: Ensayo de granulometría arena para hormigones.*

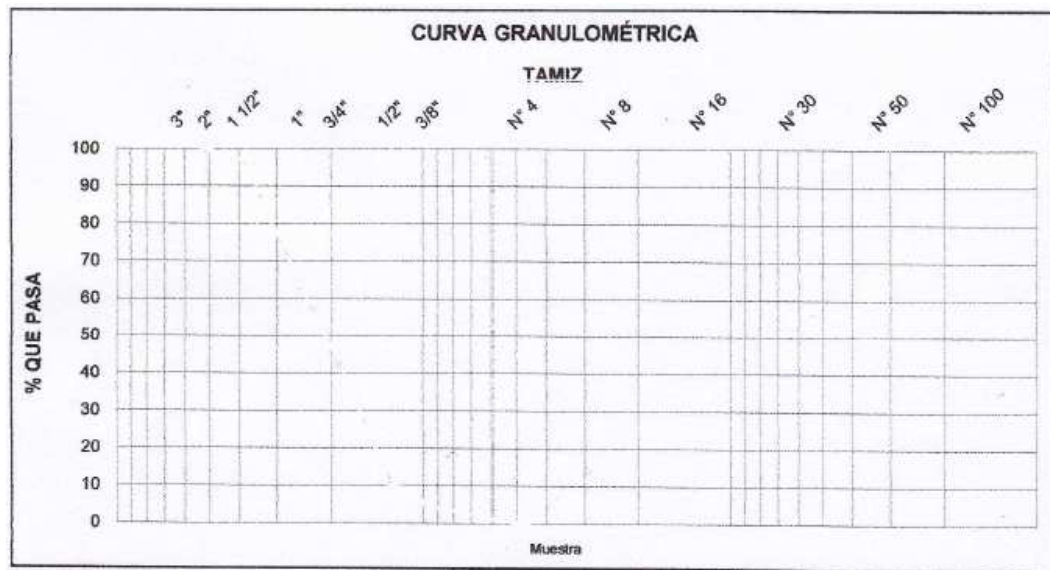


*Figura 21: Curva granulométrica del agregado fino (arena).*

*Módulo de finura = 7.6*

TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO		% QUE PASA DEL TOTAL
	mm	gr	gr	%	
2 1/2''	62.5	0	0	0	100
2''	50.8	0	0	0	100
1 1/2''	38.1	385	385	3.2	96.8
1''	25.4	3995	4380	36.2	63.8
3/4''	19.05	2455	6835	56.5	43.5
1/2''	12.7	3965	10800	89.3	10.7
3/8''	9.52	755	11555	95.5	4.5
N° 4	4.75	540	12095	100	0

*Tabla 17: Ensayo de granulometría grava para hormigones.*



*Figura 22: Curva granulométrica del agregado grueso (grava).*

#### 4.1.1.2.1.-Ensayo de peso específico y porcentaje de absorción

##### 4.1.1.2.1.1.-Ensayo de peso específico de arena método del picnómetro

El ensayo corresponde al agregado fino, se colocaron 300 grs de arena en un matraz y se llenó con agua hasta el ras. Para sacar las burbujas de agua se rodó el matraz sobre el mismo, de tal manera que salieran; luego se colocó en un baño de temperatura constante y finalmente se pesó el matraz, se vació el contenido del matraz en un recipiente y se dejó en el horno a una temperatura de 105°C, al día siguiente se sacó del horno y pesó. Para una inspección de secado de la muestras se usó un picnómetro se colocó la arena en el molde cónico luego se lo retiro y la arena rodo libremente garantizando su pleno secado. Luego se calculó el peso específico a granel, y el % de absorción de la arena, con las respectivas fórmulas.

$$\text{Peso específico a granel} = P_s / V_{sp}$$

$$\text{Peso específico en condición saturado y superficie seca} = b / V_{sp}$$

$$\text{Peso específico aparente} = P_s / (V_{ps} - (b - P_s))$$

$$\% \text{Absorción} = ((b - P_s)/P_s) * 100$$

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Temperatura	T	20	°C
Picnómetro + agua	a	634,5	grs.
Peso muestra saturada con superficie seca.	b	300	grs.
d = ( a+b )	d	934,5	grs.
C = Picnómetro + muestra + agua	C	819,9	grs.
Volumen	V <sub>sp</sub>	114,6	cm <sup>3</sup>
Peso muestra secada al horno.	P <sub>s</sub> .	297,9	grs.
Peso específico a granel	P <sub>eg</sub>	2,60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico en condición saturado y superficie seca	P <sub>es</sub>	2,62	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	P <sub>ea</sub>	2,65	gr/cm <sup>3</sup>
Por ciento de absorción, % abs. ( 3-P <sub>s</sub> )*100/P <sub>s</sub>	% abs.	0,7	%

**Tabla 18: Ensayo de peso específico y absorción de la arena, método del picnómetro.**

$$\text{Peso específico a granel} = P_s / V_{sp}$$

$$\text{Peso específico en condición saturado y superficie seca} = b / V_{sp}$$

$$\text{Peso específico aparente} = P_s / (P_s - V_{sp})$$

$$\% \text{Absorción} = ((b - P_s)/P_s) * 100$$

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Peso muestra saturada con superficie seca.	a	5000	grs.
Muestra secada al horno.	Ps	4961	grs.
(cesto + muestra s.s.s.), sumergida en agua.	b	3907	grs.
Cesto sumergido en agua.	c	799	grs.
Muestra s.s.s. Sumergida en agua, $d = ( b - c )$	d	3108	grs.
Volumen partículas incluyendo poros $V_s + V_p = ( a - d )$	Vsp	1892	cm <sup>3</sup>
Peso específico a granel.	Peg	2,62	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico en condición saturado y superficie seca.	Pes	2,64	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente.	Pea	2,68	gr/cm <sup>3</sup>
Por ciento de absorción.	% abs.	0,79	%

*Tabla 19: Ensayo de peso específico y absorción de la grava, método del cesto.*

#### 4.1.2.- Características del cemento

##### 4.1.2.1.-Origen del cemento

El cemento usado en el tramo 1ra sección Yaguacua donde se aplica actualmente pavimento rígido, es cemento portland, IP 30, mismo que se pudo obtener en los almacenes de Tarija y fue llevado hasta el lugar de vaciado de las losas a estudiar.

##### 4.1.2.2.-Ensayo de finura del cemento

Se pesó 50 grs de muestra de cemento portland, en un recipiente en la balanza, luego se tomó los datos de peso recipiente y cemento, se colocó en los tamices N40 y N200 y se tamizo manualmente por media hora, luego se pesó la muestra retenida en el

tamiz 40 y 200 respectivamente, desprendiendo lo adherido con la ayuda de una brocha y se pesó también lo que paso por el tamiz 200 y luego aplicando las respectivas fórmulas se obtuvo la finura del cemento.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Peso cemento	50	grs.
Peso retenido tamiz 40	0,3	grs.
Peso retenido tamiz 200	4,6	grs.
Peso que paso el tamiz 200	45,1	grs.
Peso de residuo que no pasa el tamiz 200= Pr40+ Pr200	4,9	grs.
Finura del cemento = (Residuo/Pcemento)*100	9,8	%

*Tabla 20: Ensayo de finura del cemento.*

#### **4.1.2.3.-Ensayo del peso específico del cemento**

El ensayo se realizó en el laboratorio de deseca, como los demás ensayos, para ello se pesó 64 grs de cemento se pesó una capsula vacía y luego se pusieron 150 ml de kerosene en el matraz y se lo coloco a bañomaría a temperatura constante, en un recipiente en la hornalla.

Luego se midió el volumen en el matraz, luego se agregó los 64 grs de cemento, y rodando el matraz se disiparon las burbujas de aire. Se midió la temperatura en el matraz y se colocó nuevamente en el baño maría, se lectura el volumen de la mezcla en el matraz, cuando se alcanzó un temperatura constante. Se obtuvo la diferencia entre los dos volúmenes para luego aplicando las formulas correspondientes calcular el peso específico del cemento

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Peso cemento	64	grs.
Temperatura constante del kerosene	41	°C
Volumen en el matraz del kerosene	165	ml
Temperatura constante del kerosene + el cemento	40,5	°C
Volumen en el matraz del kerosene+ el cemento	185	ml
Volumen desplazado = $V_{\text{kerosene}} + \text{cemento} - V_{\text{kerosene}}$	20	ml
Peso específico = $\text{Peso cemento} / \text{Volumen desplazado}$	3,2	gr/cm <sup>3</sup>

**Tabla 21: Ensayo del peso específico del cemento.**

#### 4.1.3.- Dosificación

La dosificación de la mezcla es la determinación de la combinación más económica y practica de los agregados disponibles, cemento y agua que producirá una mezcla trabajable de adecuado endurecimiento, La dosificación de esta mezcla se realizó con el método de la norma AASHTO indicado a detalle en el capítulo tres.

**Tabla 22: Dosificación del hormigón.**

#### DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

1.- Resistencia característica del hormigón:		240	
2.- Condiciones previstas de ejecución:		Buenas	
3.- Resistencia media del hormigón:	fcm:	339	
4.- Tipo de cemento:		IP-30	
5.- Tipo de áridos:		Rodados	
6.- Relación cemento / agua:	C/A:	2,17	
7.- Relación agua / cemento:	A/C:	0,46	
8.- Tamaño máximo del árido:		40	mm
9.- Consistencia:		Plástica	
10.- Asentamiento:		3-5	cm
11.- Cantidad de agua:		170	lt / m <sup>3</sup>

## 12.- Módulos granulométricos:

Arena:	2,53
Grava:	7,6

## 12.- Proporciones de los agregados:

Arena:	36,0%
Grava:	64,0%

## 13.- Relación Grava / Arena:

1,8

## 14.- Pesos específicos:

Cemento:	3,2	kg/dm <sup>3</sup>
Grava:	2,68	kg/dm <sup>3</sup>
Arena:	2,65	kg/dm <sup>3</sup>

## 15.- Valores de diseño:

Cemento:	369,57	kg/m <sup>3</sup>
Agua:	170	lts
Arena:	700,58	kg/m <sup>3</sup>
Grava:	1206,38	kg/m <sup>3</sup>
Total:	2446,52	kg/m <sup>3</sup>

## 16.- Correcciones por humedad:

Materiales	Humedad (%)	Peso corregido	
Cemento:		369,57	kg/m <sup>3</sup>
Agua:		170,00	lts
Arena húmeda:	0,00%	700,58	kg/m <sup>3</sup>
Grava húmeda:	0,00%	1206,38	kg/m <sup>3</sup>

## 17.- Proporciones de la mezcla:

Por bolsa de cemento

Cemento:	1
Agua:	0,41
Arena húmeda:	1,90
Grava húmeda:	3,26

## 18.- Proporciones de la mezcla de las vigas y probetas:

	8 Vigas	2 Probetas	
Cemento:	37,18		Kg
Agua:	17,10		lts
Arena	70,48		Kg
Grava	121,36		Kg

## 18.- Proporciones de la mezcla para cada losa:

Cemento:	73,91	Kg
Agua:	34,00	lts
Arena	140,12	Kg
Grava	241,28	Kg

#### 4.1.4.- Ensayos de resistencia

Con objeto de garantizar que el hormigón, de acuerdo con la dosificación calculada, brinde la misma resistencia que se usó para el proyecto de pavimento rígido en Yaguacua, de donde fueron modeladas las losas a ser estudiadas, se realizaron los ensayos de resistencia a compresión y a tracción.

##### 4.1.4.1.- Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón

Se vaciaron dos probetas, previo al vaciado de las losas de pavimento rígido, rota una a la edad de 10 días y la otra a la edad de 31 días a fin de llegar a la resistencia. Para este ensayo se usó el equipo de rotura de probetas a compresión, mismo que presentaba las características mostradas en la tabla 21, el cuál aplico la carga indicada en la correspondiente tabla y calculando se obtuvo la resistencia con la que contaba en cada edad.

PROBETA N	1	2
Edad (días)	10	31
Promedio diámetro	15	15
Área (cm <sup>2</sup> )	176,71	176,71
Altura (cm)	30	30
Volumen (cm <sup>3</sup> )	5301,3	5301,3
Peso (grs)	13070	12985
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	2,369	2,449
Carga ( Kg )	44726	60013
Resistencia (kg / cm <sup>2</sup> )	253,10	339,61
Resistencia 28 días (kg / cm <sup>2</sup> )	339	339
Resistencia característica (kg / cm <sup>2</sup> )	240	240

**Tabla 23: Ensayo de resistencia a compresión.**

#### 4.1.4.2.- Ensayo de rotura de viga a flexión ASTM c78-84

El presente ensayo en pavimento rígido es muy importante pues si los esfuerzos de compresión, dilatación y alabeo logra pasar esta resistencia es cuando se producen las grietas y fisuras. Con el equipo para rotura de vigas, con las características que se muestran en la tabla, una vez vaciadas las vigas con la dosificación anterior y curadas se procedió a la rotura aplicando las cargas que se muestran en la tabla. Y aplicando el cálculo correspondiente se obtuvo las resistencias para los días indicados de edad.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Edad (dias0	10	10	29	29	31	31	34	34
Ancho (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15
Largo (cm)	50	50	50	50	50	50	50	50
Altura (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15
Área (cm <sup>2</sup> )	750	750	750	750	750	750	750	750
Volumen (cm <sup>3</sup> )	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250
Carga ( Kg )	2960	2990	3401	3312	3277	3287	3401	3312
Resistencia (kg / cm <sup>2</sup> )	39.47	39.87	45	43.9	42.8	42.9	43.7	42.6

**Tabla 24: Ensayo de resistencia a tracción.**

#### 4.6. Proceso de investigación

Para realizar la investigación del comportamiento del pavimento rígido ante los esfuerzos de contracción, dilatación y alabeo, se precisó como modelo tres losas, donde la segunda pretende comprobar si se comporta similar a la primera y una tercera para su verificación, para ello se realizaron los ensayos correspondientes tanto de la mezcla como de los agregados presentados anteriormente.

Los agregados que se usaron para las losas de pavimento rígido corresponden a los mismos que se usaron y aún están usando en el pavimentado de la Ruta 9 de

Yaguacua, lugar de donde se trajeron, por referencia del supervisor de esta obra se sabe que pertenecen la arena al banco de caiza y el agregado grueso al banco de agua rica.



***Figura 23: Agregado fino y agregado grueso.***



***Figura 24: Yaguacua - Yacuiba.***

Transportados los materiales en un vehículo particular, hasta el lugar de acopio mi domicilio, donde se decidió realizar la investigación motivo por el horario de

mediciones que se debía realizar no concuerdo con la atención de los laboratorios consultados.



*Figura 25: Agregado fino.*



*Figura 26: Agregado grueso.*

Se lavaron el agregado grueso como el fino en tamices para que toda impureza sea desechada; para ello se elaboró el tamiz correspondiente haciendo hoyos donde se colocaron postes firmes para ensartar la malla con abertura 0.05mm para el lavado del

agregado fino y la malla abertura 3 mm para el lavado del agregado grueso, mismas dimensiones que se escogieron de acuerdo a la granulometría de cada agregado. Lavados los agregados figura 31, se los puso a secar al sol, luego se procedió al peso para cada losa de cada agregado, cemento y agua según indica la dosificación, el peso se realizo en valdes y por ayuda de una balanza de 1 gramo de precisión misma con la se contaba en el lugar.



*Figura 27: Agregado grueso limpio.*



*Figura 28: Agregado grueso limpio.*



***Figura 29: Peso de los agregados en balanza.***

Se prepararon los instrumentos a usar como se ve en la figuras.



***Figura 30: Mezcladora capacidad 1/4 m3.***



*Figura31: Valdes.*



*Figura 32: Vibradora.*



*Figura 33: Maderas.*

El encofrado se hizo de madera como se ve en la figura 31, se escogió las maderas con longitudes de un metro para la parte transversal del encofrado y para la parte longitudinal maderas de 3.1 m para aprovechar el espacio de vaciado disponible.



*Figura 34: Encofrado.*

Se clavaron e unieron las maderas armando así el encofrado para las tres losas, para reforzar se usó alambre y piedra que ejercieron presión en el encofrado para que al ser rellenado por la mezcla no colapse y se abra o malogre produciendo sangrado.

La longitud interior es de un metro por un metro tamaño de la losa y de espesor de 20 cm, el que se dispuso para las losas según los rangos aceptados; pues comúnmente la mayoría de los pavimentos rígidos se vacían con este espesor.



*Figura 35: Dimensiones del encofrado.*



*Figura 36: Asegurando el encofrado.*



*Figura 37: Encofrado.*

Como material antiadherente entre la base donde se vació y la mezcla de la losa se usó papel de las bolsas de cemento procurando la uniformidad y cubierto total del objeto.



*Figura 38: Material antiadherente.*



*Figura 39: Colocando el material antiadherente (bolsa de cemento).*

Con el uso de valdes de geometría especificada, para mayor comodidad se llenaron los agregados en ellos pesando de acuerdo al peso requerido para la capacidad de la mezcladora, según el peso correspondiente para  $\frac{1}{4}$  m<sup>3</sup> capacidad de la mezcladora que se usó. Lo propio se hizo con el agua y el cemento.



***Figura 40: Agregado grueso en valde.***



***Figura 41: Agregado fino en valde.***

Activada la mezcladora se procedió a vaciar el agua, luego el agregado grueso (grava rodada), sigue el agregado fino y por último el cemento, como se ve en las figuras.



*Figura 42: Mezcladora activada.*



*Figura 43: Vaciado del agregado grueso a la mezcladora.*



***Figura 44: Agregados y agua en la mezcladora.***

Revisada la consistencia de la mezcla se vació la mezcla en el encofrado directamente por la cercanía del mezclado a la obra.



***Figura 45: Proceso de mezclado.***



*Figura 46: Mezcla completa de los materiales del hormigón.*



*Figura 47: Vaciando hormigón al encofrado.*



*Figura 48: Hormigón en el encofrado.*



*Figura 49: Llenando encofrado con hormigón.*

Se uniformo el vaciado y una vez alcanzado 10 cm de espesor de procedió a la compactación de la mezcla por medio del vibrado, seprocuró que la vibración alcance toda el área que ocupaba la mezcla por ello se vibró en varios sectores.



*Figura 50: Encofrado lleno con hormigón.*



*Figura 51: Vibrado del hormigón.*



*Figura 52: Vibrado del hormigón por el área.*

Preparada la mezcla de la misma forma ya indicada se llenó el encofrado hasta alcanzar un espesor de 20 cm de la mezcla y de igual forma se compactó la mezcla. Alcanzada la altura deseada se procedió a alisar la superficie para el acabado.



*Figura 53: Acabado superficial.*

Con los mismos pasos se procedió al vaciado de la segunda losa que se encontraba al lado de la primera y por tanto sólo se transportó la mezcladora hasta el lado del encofrado para la losa 2.



*Figura 54: Vaciado de la losa 2.*

Vaciados los agregados como un acopio, una vez pesados según dosificación se pusieron en pesos para la capacidad correspondiente de la mezcladora en los valdes y lo mismo se hizo con el agua y el cemento. Activada la mezcladora se vacían el agua el agregado grueso luego el fino y por último el cemento como indica el orden para que el cemento no se pegue en las paredes de la mezcladora.



*Figura 55: Llenando del encofrado para losa 2.*

Vaciada la mezcla en el encofrado, uniforme distribución y vibrado, se preparó la mezcla necesaria para llenar el encofrado de 1 m<sup>2</sup> y espesor 20 cm como se realizó en la primera losa.



***Figura 56: Hormigón en encofrado para losa 2.***

Con el mismo procedimiento se vació la tercera losa ver figuras.



***Figura 57: Hormigón en encofrado para la tercera losa.***



*Figura 58: Vibrado de la tercera losa.*

Pasadas unas horas viendo el fraguado se dio proceso al curado usando agua con una manguera se la distribuyó aproximadamente un litro para cada una en la superficie luego de absorber lo necesario. Mismo proceso se realizó durante los 7 primeros días de vida útil de la losa para asegurarse de un buen curado.

El día tercero al vaciado se desencofró las losas procurando queden intactas las esquinas de las losas y bordes. Los cuatro primeros días se midió las temperaturas superiores la contracción y dilatación mas no se pudo medir el alabeo porque hasta el día tres estaba encofrado y aún no era milimétricamente visible. Pasados estos días se procedió la elevación de las losas hasta una altura propicia para la medición en la parte inferior de las losas con el termómetro. Se apoyaron el ladrillos estables y resistentes gambotesen cuatro extremos de cada losa alejados de la esquinas para no interferir con su libre movimiento, pues ellas trabajan como una viga simplemente apoyada.



*Figura 59: Levantado de la losas en apoyos.*

Se continuó con las mediciones diarias tres veces al día, de la contracción dilatación y alabeo, además de la temperatura ambiente, centro superior e inferior de cada una de las losas y de los 4 bordes y cuatro esquinas de cada losa para hacer un análisis de la relación que existe con estos los tres efectos de los esfuerzos a investigar.



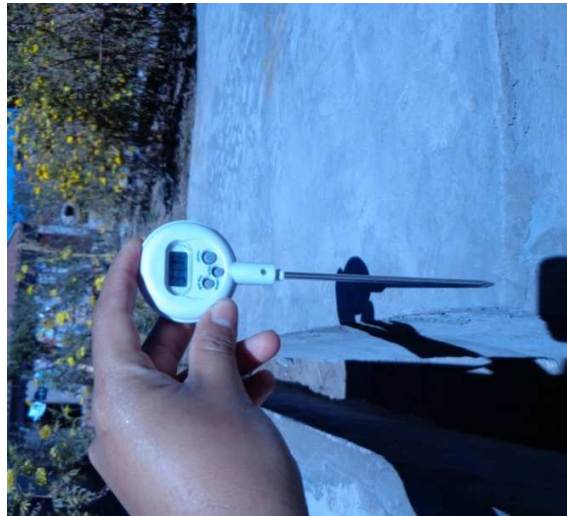
*Figura 60: Lectura de temperatura en la esquina de la losa.*



*Figura 61: Lectura de temperatura en el borde de la losa.*



*Figura 62: Lectura de temperatura en el borde de la cara inferior de la losa.*



*Figura 63: Lectura de temperatura en la esquina de la losa 2.*



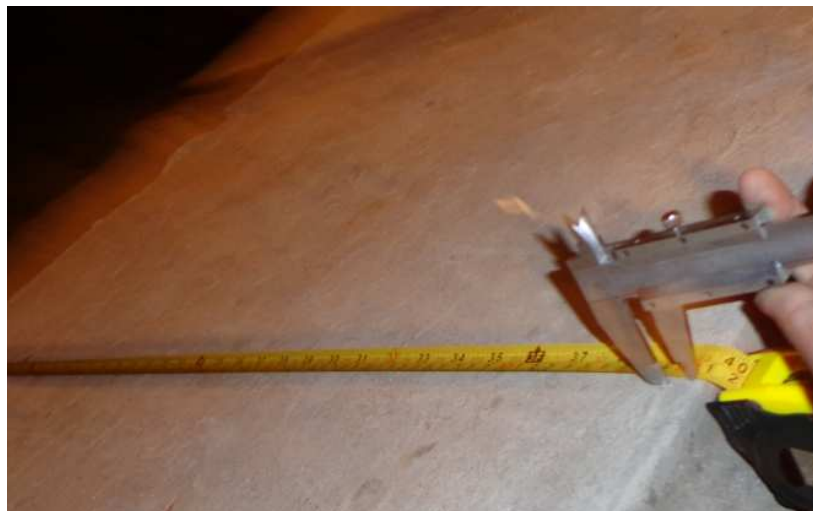
*Figura 64: Lectura de temperatura en la esquina de la losa en la cara inferior.*



*Figura 65: Lectura de temperatura en el borde de la cara superior de la losa 2.*



*Figura 66: Lectura de longitud de losa.*



*Figura 67: Lectura de longitud de losa 2.*

Llegado el día 30 de edad del concreto según la teoría indica ya ha adquirido el 100% de su resistencia y por tanto se decidió hacer el experimento de artificialmente lograr el mayor gradiente posible como se indica a continuación. Con la ayuda del carbón para generar el calentamiento de la losa y con el hielo para el enfriamiento de la misma, se procedió a preparar los materiales para ello.



*Figura 68: Carbón para llegar a la mayor temperatura posible.*

Encendido el carbón se lo esparció como una capa uniforme de calor en la primera de las losas, y dejó actuar por alrededor de tres horas hasta que alcanzó una temperatura elevada. Se retiró el carbón y limpió la superficie; midió la contracción, dilatación y alabeo de la losa, además de la temperatura en el centro, bordes y esquinas superior e inferior.



*Figura 69: Carbón sobre losa.*



*Figura 70: Medición de la temperatura en la losa luego de adquirida la mayor temperatura.*



*Figura 71: Medición temperatura en el inferior de la losa luego de adquirida la mayor temperatura.*



*Figura 72: Medición de la contracción luego de adquirida la menor temperatura*



*Figura 73: Medición del alabeo de la losa luego de adquirida la mayor temperatura.*

Inmediatamente se colocó los bloques de hielo en la superficie esperando a actuar durante 6 horas pues debido a la alta temperatura que alcanzó con las brasas de carbón tardó en adquirir una temperatura lo menor posible para dar como resultado el comportamiento de la losa ante este gradiente.

Se midió como antes ya mencionado la contracción y dilatación en ambas longitudes y el alabeo en cada esquina para coadyuvar a esta investigación y buscar una relación con la temperatura y los gradientes se midió también las temperaturas en los bordes esquinas y en el centro superior e inferior.



*Figura 74: Losa sometida al frío.*



*Figura 75: Llegando a la menor temperatura.*

De la misma manera se procedió con las otras dos losas, el proceso duró dos días por la demora de acción del hielo y el carbón.

### **4.3.-Medición del comportamiento en las losas**

#### **4.3.1.- Medición del alabeo en las losas**

El alabeo se midió con un vernier y la ayuda de una regla que apoyando la regla en la parte inferior de la losa la regla hasta la esquina era notorio el alabeo y se procedió a su medición como se ve en la figura.



*Figura 76: Medición del alabeo.*



*Figura 77: Medición del alabeo en la esquina 2.*

Tabla 25: Alabeo en losa 1.

<b>EDAD</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 1</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 2</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 3</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 4</b>
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Días	mm	mm	mm	mm
5	0,10	0,15	0,15	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,25	0,20
8	0,25	0,25	0,25	0,20
9	0,30	0,25	0,30	0,25
10	0,40	0,30	0,40	0,30
11	0,50	0,50	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,65	0,60	0,60	0,65
14	0,70	0,70	0,70	0,70
15	0,80	0,80	0,80	0,85
16	0,90	0,95	0,90	0,90
17	1,00	1,00	1,00	1,00
18	1,20	1,20	1,20	1,20
19	1,30	1,30	1,30	1,30
20	1,40	1,40	1,40	1,40
21	1,50	1,50	1,50	1,40
22	1,60	1,60	1,60	1,50
23	1,60	1,70	1,60	1,60
23	1,65	1,70	1,65	1,65
24	1,70	1,70	1,70	1,65
25	1,75	1,80	1,80	1,70
26	1,80	1,80	1,90	1,80
27	1,90	1,90	2,05	1,95
28	2,00	2,00	2,20	2,00
29	2,15	2,10	2,30	2,20

Tabla 26: Alabeo en losa 2.

EDAD	ALABEO EN LA ESQUINA 1	ALABEO EN LA ESQUINA 2	ALABEO EN LA ESQUINA 3	ALABEO EN LA ESQUINA 4
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Días	mm	mm	mm	mm
5	0,15	0,15	0,10	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,20	0,20
8	0,25	0,20	0,20	0,25
9	0,30	0,20	0,30	0,25
10	0,35	0,35	0,30	0,30
11	0,50	0,40	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,70	0,70	0,70	0,70
14	0,80	0,80	0,80	0,80
15	0,90	0,90	0,90	0,90
16	1,00	1,05	1,00	1,05
17	1,10	1,10	1,10	1,10
18	1,30	1,30	1,30	1,35
19	1,40	1,45	1,40	1,40
20	1,50	1,50	1,55	1,50
21	1,60	1,50	1,60	1,60
22	1,70	1,60	1,70	1,70
23	1,70	1,70	1,80	1,70
24	1,80	1,80	1,85	1,80
25	1,80	1,80	1,90	1,90
26	1,90	1,90	2,00	1,90
27	2,00	1,95	2,10	2,00
28	2,10	2,00	2,20	2,10
29	2,20	2,10	2,40	2,25

Tabla 27: Alabeo en losa 3.

EDAD	ALABEO EN LA ESQUINA 1	ALABEO EN LA ESQUINA 2	ALABEO EN LA ESQUINA 3	ALABEO EN LA ESQUINA 4
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Días	mm	mm	mm	mm
5	0,10	0,10	0,10	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,20	0,20
8	0,25	0,25	0,20	0,25
9	0,30	0,25	0,25	0,25
10	0,30	0,30	0,30	0,30
11	0,50	0,50	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,70	0,70	0,70	0,70
14	0,80	0,80	0,80	0,80
15	0,90	0,90	0,90	0,90
16	1,00	1,05	1,05	1,00
17	1,10	1,10	1,15	1,15
18	1,30	1,30	1,30	1,30
19	1,40	1,40	1,40	1,40
20	1,50	1,50	1,50	1,50
21	1,60	1,60	1,60	1,60
22	1,70	1,70	1,70	1,70
23	1,70	1,75	1,80	1,70
24	1,75	1,80	1,80	1,80
25	1,80	1,80	1,90	1,95
26	1,90	1,95	2,00	2,00
27	1,90	2,00	2,10	2,05
28	2,10	2,05	2,30	2,10
29	2,20	2,10	2,40	2,35

#### 4.3.2.- Medición de la dilatación y contracción en las losas

La contracción y dilatación de las losas se realizó con una cinta métrica en coadyuva del vernier para mayor precisión milimétrica.



*Figura 78: Medición de la contracción.*



*Figura 79: Medición de la dilatación.*

**Tabla 28: Medición de contracción y dilatación en la losa 1.**

EDAD	HORA	TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$ (°C)	LADO1 (mm)	LADO2 (mm)	EFEECTO
1	8:30	16.46		999.00	998.50	RETRACCION
1	12:30	23.02	6.56	999.30	998.80	DILATACION
1	20:45	17.23	-5.79	999.00	998.50	CONTRACCION
2	7:40	15.25	-1.98	998.75	998.25	CONTRACCION
2	13:00	23.69	8.44	999.10	998.60	DILATACION
2	21:00	16.68	-7.02	998.80	998.30	CONTRACCION
3	8:30	14.63	-2.04	998.55	998.05	CONTRACCION
3	14:00	24.67	10.03	998.90	998.40	DILATACION
3	20:30	16.15	-8.52	998.55	998.05	CONTRACCION
4	7:30	13.43	-2.73	998.25	997.75	CONTRACCION
4	14:30	27.75	14.33	998.70	998.20	DILATACION
4	23:00	15.20	-12.55	998.30	997.80	CONTRACCION
5	8:30	13.23	-1.98	998.00	997.50	CONTRACCION
5	13:30	22.58	9.35	998.40	997.90	DILATACION
5	23:00	13.92	-8.66	998.05	997.55	CONTRACCION
6	9:00	14.85	0.93	998.35	997.85	DILATACION
6	14:00	25.40	10.55	998.75	998.25	DILATACION
6	20:30	16.58	-8.83	998.35	997.85	CONTRACCION
7	7:30	14.28	-2.29	998.05	997.55	CONTRACCION
7	13:30	26.40	12.12	998.50	998.00	DILATACION
7	20:00	17.11	-9.29	998.10	997.60	CONTRACCION
8	7:00	11.43	-5.68	997.75	997.25	CONTRACCION
8	14:00	23.60	12.18	998.20	997.70	DILATACION
8	20:00	18.21	-5.39	997.85	997.35	CONTRACCION
9	8:00	15.79	-2.42	997.50	997.00	CONTRACCION
9	13:00	25.80	10.01	997.95	997.45	DILATACION
9	21:00	17.26	-8.54	997.55	997.05	CONTRACCION
10	8:30	14.25	-3.01	997.20	996.70	CONTRACCION
10	13:00	29.38	15.13	997.70	997.20	DILATACION
10	22:00	15.00	-14.38	997.20	996.70	CONTRACCION
11	9:00	15.53	0.53	997.55	997.05	DILATACION
11	12:30	27.71	12.18	998.05	997.55	DILATACION
11	22:00	15.40	-12.31	997.55	997.05	CONTRACCION
12	7:00	13.83	-1.57	997.20	996.70	CONTRACCION
12	12:30	27.31	13.48	997.70	997.20	DILATACION

12	22:30	15.48	-11.83	997.20	996.70	CONTRACCION
13	7:30	15.43	-0.05	996.85	996.35	CONTRACCION
13	12:00	29.73	14.30	997.40	996.90	DILATAACION
13	21:00	17.65	-12.08	996.90	996.40	CONTRACCION
14	7:30	14.73	-2.93	996.50	996.00	CONTRACCION
14	12:30	31.14	16.42	997.10	996.60	DILATAACION
14	22:00	17.35	-13.79	996.55	996.05	CONTRACCION
15	7:00	15.93	-1.43	996.15	995.65	CONTRACCION
15	12:00	28.44	12.52	996.70	996.20	DILATAACION
15	23:25	19.13	-9.32	996.20	995.70	CONTRACCION
16	8:00	21.49	2.36	996.60	996.10	DILATAACION
16	12:30	29.64	8.15	997.10	996.60	DILATAACION
16	23:20	19.65	-9.99	996.60	996.10	CONTRACCION
17	8:00	20.48	0.82	997.00	996.50	DILATAACION
17	12:30	30.44	9.96	997.50	997.00	DILATAACION
17	22:30	20.98	-9.46	997.00	996.50	CONTRACCION
18	8:30	20.88	-0.10	996.60	996.10	CONTRACCION
18	12:00	32.00	11.12	997.15	996.65	DILATAACION
18	20:00	20.08	-11.92	996.60	996.10	CONTRACCION
19	8:30	20.05	-0.03	996.20	995.70	CONTRACCION
19	12:30	31.57	11.52	996.75	996.25	DILATAACION
19	20:55	19.07	-12.50	996.15	995.65	CONTRACCION
20	9:00	20.05	0.99	996.55	996.05	DILATAACION
20	12:47	31.37	11.31	997.10	996.60	DILATAACION
20	20:47	21.89	-9.48	996.55	996.05	CONTRACCION
21	8:30	18.09	-3.80	996.10	995.60	CONTRACCION
21	12:30	32.70	14.60	996.75	996.25	DILATAACION
21	23:12	20.58	-12.11	996.15	995.65	CONTRACCION
22	7:48	18.25	-2.33	995.70	995.20	CONTRACCION
22	12:22	30.50	12.24	996.30	995.80	DILATAACION
22	21:55	21.28	-9.21	995.75	995.25	CONTRACCION
23	8:30	14.44	-6.85	995.20	994.70	CONTRACCION
23	12:32	23.98	9.54	995.75	995.25	DILATAACION
23	22:18	18.58	-5.39	995.25	994.75	CONTRACCION
24	8:25	13.34	-5.25	994.75	994.25	CONTRACCION
24	12:10	23.18	9.84	995.35	994.85	DILATAACION
24	23:10	15.36	-7.82	994.80	994.30	CONTRACCION
25	7:42	13.04	-2.32	994.30	993.80	CONTRACCION
25	12:55	21.48	8.44	994.90	994.40	DILATAACION
25	22:34	14.40	-7.08	994.35	993.85	CONTRACCION
26	8:00	13.99	-0.41	993.85	993.35	CONTRACCION

26	12:46	28.45	14.46	994.50	994.00	DILATACION
26	22:40	14.70	-13.75	993.85	993.35	CONTRACCION
27	9:30	17.89	3.19	994.35	993.85	DILATACION
27	12:12	30.64	12.75	995.00	994.50	DILATACION
27	21:30	14.90	-15.74	994.30	993.80	CONTRACCION
28	8:30	15.29	0.39	994.80	994.30	DILATACION
28	12:45	32.04	16.75	995.55	995.05	DILATACION
28	21:10	17.24	-14.80	994.80	994.30	CONTRACCION
29	8:40	14.87	-2.37	994.25	993.75	CONTRACCION
29	12:35	29.74	14.87	994.95	994.45	DILATACION
29	23:45	17.64	-12.10	994.30	993.80	CONTRACCION
30	8:27	15.95	-1.68	993.80	993.30	CONTRACCION

**Tabla 29: Medición de contracción y dilatación en la losa 2.**

EDAD	HORA	TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$ (°C)	LADO 1 (mm)	LADO 2 (mm)	EFEECTO
1	8:30	17.06		998.50	998.00	RETRACCION
1	12:30	20.18	3.13	998.75	998.25	DILATACION
1	20:45	17.09	-3.09	998.50	998.00	CONTRACCION
2	7:40	15.53	-1.56	998.25	997.75	CONTRACCION
2	13:00	22.18	6.64	998.55	998.05	DILATACION
2	21:00	16.35	-5.83	998.25	997.75	CONTRACCION
3	8:30	14.72	-1.63	998.00	997.50	CONTRACCION
3	14:00	21.30	6.58	998.35	997.85	DILATACION
3	20:30	16.17	-5.13	998.05	997.55	CONTRACCION
4	7:30	13.73	-2.44	997.75	997.25	CONTRACCION
4	14:30	24.14	10.42	998.15	997.65	DILATACION
4	23:00	15.07	-9.08	997.75	997.25	CONTRACCION
5	8:30	13.56	-1.51	997.45	996.95	CONTRACCION
5	13:30	23.08	9.52	997.85	997.35	DILATACION
5	23:00	14.42	-8.66	997.45	996.95	CONTRACCION
6	9:00	15.15	0.73	997.75	997.25	DILATACION
6	14:00	28.10	12.95	998.25	997.75	DILATACION
6	20:30	15.98	-12.13	997.80	997.30	CONTRACCION
7	7:30	13.88	-2.09	997.45	996.95	CONTRACCION
7	13:30	27.60	13.72	997.95	997.45	DILATACION
7	20:00	16.81	-10.79	997.50	997.00	CONTRACCION

8	7:00	11.53	-5.28	997.10	996.60	CONTRACCION
8	14:00	25.70	14.18	997.60	997.10	DILATACION
8	20:00	17.81	-7.89	997.15	996.65	CONTRACCION
9	8:00	15.99	-1.82	996.80	996.30	CONTRACCION
9	13:00	28.10	12.11	997.30	996.80	DILATACION
9	21:00	16.56	-11.54	996.80	996.30	CONTRACCION
10	8:30	14.45	-2.11	996.45	995.95	CONTRACCION
10	13:00	30.48	16.03	997.00	996.50	DILATACION
10	22:00	14.67	-15.81	996.45	995.95	CONTRACCION
11	9:00	17.08	2.42	996.85	996.35	DILATACION
11	12:30	27.91	10.83	997.35	996.85	DILATACION
11	22:00	14.90	-13.01	996.85	996.35	CONTRACCION
12	7:00	13.93	-0.97	996.50	996.00	CONTRACCION
12	12:30	28.51	14.58	997.05	996.55	DILATACION
12	22:30	15.65	-12.86	996.50	996.00	CONTRACCION
13	7:30	15.63	-0.03	996.15	995.65	CONTRACCION
13	12:00	31.51	15.89	996.75	996.25	DILATACION
13	21:00	16.52	-15.00	996.15	995.65	CONTRACCION
14	7:30	16.06	-0.46	995.75	995.25	CONTRACCION
14	22:30	32.64	16.58	996.35	995.85	DILATACION
14	7:30	16.65	-15.99	995.75	995.25	CONTRACCION
15	12:00	16.23	-0.42	995.35	994.85	CONTRACCION
15	21:00	29.54	13.32	995.95	995.45	DILATACION
15	7:30	19.06	-10.48	995.40	994.90	CONTRACCION
16	12:30	21.32	2.26	995.85	995.35	DILATACION
16	22:00	31.34	10.02	996.40	995.90	DILATACION
16	7:00	19.55	-11.79	995.85	995.35	CONTRACCION
17	12:00	20.58	1.03	996.25	995.75	DILATACION
17	23:25	33.01	12.43	996.85	996.35	DILATACION
17	8:00	20.85	-12.16	996.25	995.75	CONTRACCION
18	12:30	20.53	-0.32	995.85	995.35	CONTRACCION
18	23:20	33.45	12.92	996.45	995.95	DILATACION
18	8:00	19.38	-14.07	995.80	995.30	CONTRACCION
19	12:30	20.38	1.00	996.25	995.75	DILATACION
19	22:30	32.29	11.91	996.85	996.35	DILATACION
19	8:30	18.97	-13.33	996.20	995.70	CONTRACCION
20	12:00	20.45	1.49	996.65	996.15	DILATACION
20	20:00	31.97	11.51	997.25	996.75	DILATACION
20	8:30	21.77	-10.20	996.65	996.15	CONTRACCION
21	12:30	18.83	-2.94	996.15	995.65	CONTRACCION
21	20:55	33.16	14.33	996.80	996.30	DILATACION

21	9:00	20.42	-12.74	996.15	995.65	CONTRACCION
22	12:47	18.21	-2.21	995.65	995.15	CONTRACCION
22	20:47	30.80	12.59	996.30	995.80	DILATACION
22	8:30	21.50	-9.29	995.65	995.15	CONTRACCION
23	12:30	14.50	-7.00	995.05	994.55	CONTRACCION
23	23:12	25.20	10.70	995.70	995.20	DILATACION
23	7:48	18.18	-7.02	995.10	994.60	CONTRACCION
24	12:22	13.54	-4.65	994.55	994.05	CONTRACCION
24	21:55	23.88	10.34	995.20	994.70	DILATACION
24	8:30	14.96	-8.92	994.60	994.10	CONTRACCION
25	12:32	13.14	-1.82	994.10	993.60	CONTRACCION
25	22:18	21.98	8.84	994.70	994.20	DILATACION
25	8:25	13.35	-8.63	994.10	993.60	CONTRACCION
26	12:10	14.29	0.94	994.60	994.10	DILATACION
26	23:10	29.25	14.96	995.35	994.85	DILATACION
26	7:42	13.50	-15.75	994.60	994.10	CONTRACCION
27	12:55	16.17	2.67	995.15	994.65	DILATACION
27	22:34	31.14	14.97	995.90	995.40	DILATACION
27	8:00	14.70	-16.44	995.15	994.65	CONTRACCION
28	23:10	15.66	0.96	995.70	995.20	DILATACION
28	7:42	32.34	16.68	996.50	996.00	DILATACION
28	12:55	16.94	-15.40	995.75	995.25	CONTRACCION
29	22:34	15.34	-1.60	995.20	994.70	CONTRACCION
29	8:00	29.84	14.50	995.95	995.45	DILATACION
29	12:46	18.05	-11.79	995.25	994.75	CONTRACCION
30	22:40	16.38	-1.68	994.70	994.20	CONTRACCION

**Tabla 30: Medición de contracción y dilatación en la losa 3.**

EDAD	HORA	TEMPERATUR A PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$ (°C)	LADO 1 (mm)	LADO2 (mm)	EFEECTO
1	8:30	16.88		998.00	998.00	RETRACCION
1	12:30	20.18	3.30	998.35	998.35	DILATACION
1	20:45	17.39	-2.79	998.00	998.00	CONTRACCION
2	7:40	15.68	-1.72	997.70	997.70	CONTRACCION
2	13:00	20.23	4.56	998.05	998.05	DILATACION
2	21:00	16.35	-3.88	997.70	997.70	CONTRACCION
3	8:30	14.58	-1.77	997.40	997.40	CONTRACCION

3	14:00	21.40	6.82	997.80	997.80	DILATACION
3	20:30	16.16	-5.24	997.40	997.40	CONTRACCION
4	7:30	13.72	-2.44	997.05	997.05	CONTRACCION
4	14:30	21.60	7.88	997.45	997.45	DILATACION
4	23:00	14.82	-6.78	997.05	997.05	CONTRACCION
5	8:30	13.92	-0.90	996.70	996.70	CONTRACCION
5	13:30	23.45	9.53	997.20	997.20	DILATACION
5	23:00	14.24	-9.21	996.70	996.70	CONTRACCION
6	9:00	13.20	-1.04	996.35	996.35	CONTRACCION
6	14:00	27.00	13.80	996.95	996.95	DILATACION
6	20:30	15.23	-11.78	996.40	996.40	CONTRACCION
7	7:30	13.11	-2.12	996.00	996.00	CONTRACCION
7	13:30	29.28	16.17	996.65	996.65	DILATACION
7	20:00	16.56	-12.72	996.05	996.05	CONTRACCION
8	7:00	11.75	-4.81	995.60	995.60	CONTRACCION
8	14:00	26.70	14.95	996.25	996.25	DILATACION
8	20:00	17.36	-9.34	995.70	995.70	CONTRACCION
9	8:00	16.22	-1.14	995.30	995.30	CONTRACCION
9	13:00	29.30	13.08	995.90	995.90	DILATACION
9	21:00	15.61	-13.69	995.30	995.30	CONTRACCION
10	8:30	14.78	-0.83	994.90	994.90	CONTRACCION
10	13:00	31.25	16.47	995.60	995.60	DILATACION
10	22:00	14.43	-16.82	994.90	994.90	CONTRACCION
11	9:00	17.72	3.28	995.35	995.35	DILATACION
11	12:30	29.82	12.10	995.95	995.95	DILATACION
11	22:00	14.60	-15.22	995.25	995.25	CONTRACCION
12	7:00	14.27	-0.33	994.80	994.80	CONTRACCION
12	12:30	29.78	15.52	995.50	995.50	DILATACION
12	22:30	15.67	-14.12	994.80	994.80	CONTRACCION
13	7:30	15.90	0.23	995.25	995.25	DILATACION
13	12:00	32.38	16.48	995.95	995.95	DILATACION
13	21:00	15.15	-17.23	995.20	995.20	CONTRACCION
14	7:30	17.17	2.02	995.80	995.80	DILATACION
14	22:30	32.93	15.76	996.55	996.55	DILATACION
14	7:30	16.17	-16.76	995.80	995.80	CONTRACCION
15	12:00	16.70	0.53	996.25	996.25	DILATACION
15	21:00	30.86	14.16	996.95	996.95	DILATACION
15	7:30	18.62	-12.24	996.25	996.25	CONTRACCION
16	12:30	21.67	3.05	996.80	996.80	DILATACION
16	22:00	32.46	10.79	997.45	997.45	DILATACION
16	7:00	19.45	-13.01	996.75	996.75	CONTRACCION

17	12:00	20.80	1.35	997.25	997.25	DILATACION
17	23:25	34.16	13.36	998.00	998.00	DILATACION
17	8:00	20.61	-13.55	997.25	997.25	CONTRACCION
18	12:30	20.72	0.11	997.75	997.75	DILATACION
18	23:20	33.58	12.87	998.50	998.50	DILATACION
18	8:00	18.97	-14.62	997.75	997.75	CONTRACCION
19	12:30	20.49	1.53	998.30	998.30	DILATACION
19	22:30	34.15	13.66	999.05	999.05	DILATACION
19	8:30	18.67	-15.49	998.25	998.25	CONTRACCION
20	12:00	20.65	1.99	998.80	998.80	DILATACION
20	20:00	32.57	11.91	999.55	999.55	DILATACION
20	8:30	21.90	-10.67	998.85	998.85	CONTRACCION
21	12:30	19.04	-2.86	998.25	998.25	CONTRACCION
21	20:55	34.17	15.13	999.05	999.05	DILATACION
21	9:00	20.12	-14.05	998.25	998.25	CONTRACCION
22	12:47	18.41	-1.71	997.65	997.65	CONTRACCION
22	20:47	31.00	12.59	998.45	998.45	DILATACION
22	8:30	22.05	-8.94	997.75	997.75	CONTRACCION
23	12:30	14.59	-7.47	997.05	997.05	CONTRACCION
23	23:12	26.14	11.55	997.80	997.80	DILATACION
23	7:48	17.88	-8.25	997.10	997.10	CONTRACCION
24	12:22	13.74	-4.15	996.45	996.45	CONTRACCION
24	21:55	24.18	10.44	997.20	997.20	DILATACION
24	8:30	14.85	-9.33	996.45	996.45	CONTRACCION
25	12:32	13.54	-1.31	995.80	995.80	CONTRACCION
25	22:18	22.58	9.04	996.55	996.55	DILATACION
25	8:25	13.27	-9.31	995.80	995.80	CONTRACCION
26	12:10	14.99	1.72	996.45	996.45	DILATACION
26	23:10	29.28	14.30	997.30	997.30	DILATACION
26	7:42	13.00	-16.28	996.40	996.40	CONTRACCION
27	12:55	16.55	3.55	997.10	997.10	DILATACION
27	22:34	31.84	15.28	998.00	998.00	DILATACION
27	8:00	13.80	-18.04	997.05	997.05	CONTRACCION
28	23:10	15.57	1.77	997.70	997.70	DILATACION
28	7:42	33.44	17.87	998.65	998.65	DILATACION
28	12:55	16.14	-17.30	997.70	997.70	CONTRACCION
29	22:34	15.55	-0.59	997.05	997.05	CONTRACCION
29	8:00	30.54	14.99	997.95	997.95	DILATACION
29	12:46	18.08	-12.46	997.10	997.10	CONTRACCION
30	22:40	16.56	-1.52	996.45	996.45	CONTRACCION

### 4.3.3.- Medición de la temperatura en las losas

Para encontrar una relación con la temperatura, pues los tres esfuerzos son a causa de la temperatura, se midió la temperatura en el centro, borde y esquina de la losa, en la parte inferior y superior, por ser estos los puntos más críticos en una losa de pavimento rígido.

**Tabla 31: Medición de las temperaturas en la losa 1.**

CENTRO		BORDE PROMEDIO		ESQUINA PROMEDIO	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
16.6		16.48		16.30	
24.3		22.28		22.48	
17.5		17.13		17.05	
15.3		15.23		15.23	
24.3		23.38		23.40	
17		16.53		16.50	
14.8		14.53		14.58	
27		23.18		23.83	
16		16.25		16.20	
13.7		13.25		13.33	
28.4		27.45		27.40	
15.1	15.5	14.98	15.38	14.93	15.33
13.6	12.6	13.65	13.00	13.58	12.93
21.2	18.4	29.28	18.78	29.15	18.65
13.1	13.6	13.98	14.50	13.90	14.43
14.9	13.9	15.88	14.33	15.83	14.28
28.2	25.2	25.30	24.30	25.20	24.20
16.3	17	16.30	16.93	16.15	16.78
13.9	12.7	15.35	14.38	15.18	14.20
29.2	26.2	26.23	25.30	26.20	25.28
17	17.2	16.95	17.33	16.90	17.28
11.5	12.3	11.55	10.90	11.48	10.83
26.4	23.4	23.50	22.50	23.40	22.40
17.8	18.2	18.15	18.53	18.10	18.48

14.6	14.2	16.85	16.20	16.78	16.13
28.6	25.6	25.70	24.70	25.60	24.60
16.9	17.4	17.15	17.53	17.10	17.48
15	14.2	14.35	13.80	14.35	13.80
32.3	26.3	31.65	26.60	32.53	26.90
14.8	15.1	14.85	15.10	14.85	15.30
15.8	15.1	15.85	15.30	15.85	15.30
32.3	23.1	29.95	24.90	30.83	25.20
15.2	15.5	15.25	15.50	15.25	15.70
14.1	13.4	14.15	13.60	14.15	13.60
31.9	22.7	29.55	24.50	30.43	24.80
15	16.1	14.85	16.05	14.80	16.08
15.6	14.7	15.75	15.20	15.90	15.40
28.4	25.9	33.25	28.20	34.13	28.50
17.7	18.6	16.90	18.00	16.88	17.83
14.9	14	15.05	14.50	15.20	14.70
33.2	26.6	34.60	28.70	34.80	28.95
17.4	18.3	16.60	17.70	16.58	17.53
16.1	15.2	16.25	15.70	16.40	15.90
30.5	23.9	31.90	26.00	32.10	26.25
18.9	19.4	18.85	19.45	18.80	19.35
22.7	20.5	22.40	20.45	22.43	20.45
31.7	25.1	33.10	27.20	33.30	27.45
19.3	20.1	19.25	20.05	19.20	20.03
21.1	20.2	21.00	19.70	21.03	19.85
32.5	25.9	33.90	28.00	34.10	28.25
20.7	21.5	20.65	21.25	20.58	21.20
21.5	20.6	21.40	20.10	21.43	20.25
33.9	26.3	38.20	27.80	37.88	27.93
20.5	19.8	19.70	20.40	19.85	20.25
20.2	19.9	20.30	20.00	20.10	19.80
35.1	27	34.85	28.50	34.95	29.00
19.5	18.8	18.70	19.40	19.25	18.75
20.1	19.8	20.33	20.15	19.80	20.15
34.9	26.8	34.65	28.30	34.75	28.80
21.9	22.4	21.75	21.83	21.68	21.80
17.2	18.8	17.65	18.68	17.60	18.63
35.3	27.5	36.15	29.50	36.23	31.50
20.3	21.6	20.13	20.70	20.10	20.68
18.7	18.3	17.90	18.40	18.00	18.23
33.1	25.3	33.95	27.30	34.03	29.30

21.3	21.9	20.95	21.70	20.55	21.30
14.4	14.5	14.40	14.60	14.30	14.43
26.1	21.1	26.20	21.65	27.15	21.65
18.3	19.6	18.13	18.70	18.10	18.68
13.3	13.4	13.30	13.50	13.20	13.33
25.3	20.3	25.40	20.85	26.35	20.85
15	16.4	14.68	16.05	14.40	15.63
13	13.1	13.00	13.20	12.90	13.03
23.6	18.6	23.70	19.15	24.65	19.15
13.9	15.6	13.63	15.35	13.40	14.53
13.5	13.7	14.33	13.75	14.58	14.08
31.5	22.8	31.68	25.60	31.83	27.30
14.2	15.9	13.93	15.65	13.70	14.83
17.4	17.6	18.23	17.65	18.48	17.98
31.5	23.7	35.75	27.13	36.73	29.03
14.4	16.1	14.13	15.85	13.90	15.03
14.8	15	15.63	15.05	15.88	15.38
32.9	25.1	37.15	28.53	38.13	30.43
17.2	17.7	16.80	17.50	16.73	17.50
14.8	15.1	14.68	15.10	14.58	14.98
30.6	22.8	34.85	26.23	35.83	28.13
17.6	18.1	17.20	17.90	17.13	17.90
15.7	16.1	15.93	16.08	15.88	16.05

**Tabla 32: Medición de las temperaturas en la losa 2.**

CENTRO		BORDE		ESQUINA	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
17		17.18		17.00	
20.2		20.18		20.18	
17.1		17.03		17.15	
15.9		15.35		15.35	
23.3		20.95		22.28	
16.1		16.35		16.60	
14.8		14.75		14.60	
21.5		21.48		20.93	
16.1		16.20		16.20	
13.7		13.70		13.78	

23.5		23.90		25.03	
15.1	15.5	14.78	15.18	14.73	15.13
14.1	13.3	13.85	13.20	13.78	13.13
21.7	18.9	29.78	19.28	29.65	19.15
13.6	14.1	14.48	15.00	14.40	14.93
15.2	14.2	16.18	14.63	16.13	14.58
30.9	27.9	28.00	27.00	27.90	26.90
15.7	16.4	15.70	16.33	15.55	16.18
13.5	12.3	14.95	13.98	14.78	13.80
30.4	27.4	27.43	26.50	27.40	26.48
16.7	16.9	16.65	17.03	16.60	16.98
11.6	12.4	11.65	11.00	11.58	10.93
28.5	25.5	25.60	24.60	25.50	24.50
17.4	17.8	17.75	18.13	17.70	18.08
14.8	14.4	17.05	16.40	16.98	16.33
30.9	27.9	28.00	27.00	27.90	26.90
16.2	16.7	16.45	16.83	16.40	16.78
15.2	14.4	14.55	14.00	14.55	14.00
33.4	27.4	32.75	27.70	33.63	28.00
14.4	15.1	14.45	14.70	14.45	14.90
17.5	16.3	17.45	16.90	17.45	16.90
30.7	23.1	30.65	25.60	31.53	25.90
14.7	15	14.75	15.00	14.75	15.20
14.2	13.5	14.25	13.70	14.25	13.70
33.1	23.9	30.75	25.70	31.63	26.00
14.9	15.8	15.80	15.80	15.80	15.80
15.8	14.9	15.95	15.40	16.10	15.60
38.2	23.6	34.05	29.00	34.93	29.30
16.6	17.3	15.80	16.90	15.78	16.73
16.3	15	16.45	15.90	16.60	16.10
34.7	28.1	36.10	30.20	36.30	30.45
16.7	17.6	15.90	17.00	15.88	16.83
16.4	15.5	16.55	16.00	16.70	16.20
31.6	25	33.00	27.10	33.20	27.35
19.1	19.6	18.65	19.25	18.60	19.15
22.3	21.5	22.00	20.05	22.03	20.05
33.4	26.8	34.80	28.90	35.00	29.15
19.4	20.2	19.05	19.85	19.00	19.83
21.2	20.3	21.10	19.80	21.13	19.95
38.8	27.4	35.80	29.90	36.00	30.15
20.7	21.5	20.45	21.05	20.38	21.00

20.7	20.5	21.10	19.80	21.13	19.95
38	28.5	38.80	28.40	38.48	28.53
19.8	19.1	19.00	19.70	19.15	19.55
20.6	19.9	20.70	20.40	20.50	20.20
33.5	27.5	35.45	29.58	37.38	30.35
19.4	18.7	18.60	19.30	19.15	18.65
20.5	20.2	20.73	20.55	20.20	20.55
35.5	27.4	35.25	28.90	35.35	29.40
21.9	22.3	21.30	22.15	21.35	21.60
18.5	19.1	18.75	18.90	18.70	19.03
36	27.9	35.95	30.55	36.15	32.40
20.6	21.1	19.93	20.50	19.90	20.48
17.8	18.6	17.85	18.55	17.88	18.58
33.4	25.6	34.25	27.60	34.33	29.60
21.1	21.9	21.13	21.85	21.18	21.88
14.5	15	14.10	14.68	14.15	14.58
28.6	20.2	28.85	21.83	28.65	23.08
17.9	19.2	17.73	18.30	17.70	18.28
13.5	13.6	13.50	13.70	13.40	13.53
26	21	26.10	21.55	27.05	21.55
14.4	16.3	14.18	15.35	14.00	15.53
13.1	13.2	13.10	13.30	13.00	13.13
24.1	19.1	24.20	19.65	25.15	19.65
12.5	15.2	12.50	13.83	12.45	13.60
13.8	14	14.63	14.05	14.88	14.38
32.7	23.9	32.58	26.10	32.85	27.35
13	14.7	12.73	14.45	12.50	13.63
15.3	16.2	15.85	16.55	16.08	17.03
32	24.2	36.25	27.63	37.23	29.53
14.2	15.9	13.93	15.65	13.70	14.83
15.6	14.9	15.78	15.70	16.23	15.75
33.2	25.4	37.45	28.83	38.43	30.73
16.9	17.4	16.50	17.20	16.43	17.20
15	15.7	15.05	15.60	15.15	15.55
30.7	22.9	34.95	26.33	35.93	28.23
17.9	18.9	17.63	18.43	17.28	18.18
16.3	16.3	16.35	16.43	16.30	16.58

**Tabla 33: Medición de las temperaturas en la losa 3.**

CENTRO		BORDE		ESQUINA	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
17		16.95		16.70	
20.2		20.33		20.03	
17.6		17.40		17.18	
15.7		15.70		15.63	
20.3		20.28		20.13	
16.5		16.18		16.38	
14.6		14.55		14.60	
21.1		21.53		21.58	
16.2		16.10		16.18	
13.8		13.70		13.65	
21.4		16.33		21.78	
14.9	15.3	14.58	14.98	14.38	14.78
13.6	13	14.65	13.90	14.45	13.93
22.2	19.4	30.28	19.78	29.78	19.28
13.5	14	14.38	14.90	14.08	14.60
13.3	12.3	14.28	12.73	14.08	12.53
29.9	26.9	27.00	26.00	26.60	25.60
15.1	15.8	15.10	15.73	14.50	15.13
12.9	11.7	14.35	13.38	13.65	12.68
32.1	29.1	29.13	28.20	29.03	28.10
16.5	16.7	16.45	16.83	16.25	16.63
11.9	12.7	11.95	11.30	11.65	11.00
29.6	26.6	26.70	25.70	26.30	25.30
17	17.4	17.35	17.73	17.15	17.53
15.1	14.7	17.35	16.70	17.05	16.40
32.2	29.2	29.30	28.30	28.90	27.90
15.3	15.8	15.55	15.93	15.35	15.73
15.5	14.7	14.85	14.30	14.90	14.45
33.6	27.6	32.95	27.90	36.45	29.00
14.1	14.6	14.15	14.40	14.15	15.20
18.1	16.9	18.05	17.50	18.10	17.65
32.3	23.1	32.25	27.20	35.75	28.30
14.3	14.6	14.35	14.60	14.35	15.40
14.5	13.8	14.55	14.00	14.60	14.15
33.8	24.6	31.45	26.40	34.95	27.50
14.8	16.4	15.70	15.70	15.70	15.70
15.9	15	16.05	15.50	16.65	16.30

38.5	23.9	34.35	29.30	37.85	30.40
14.7	15.9	14.70	15.80	14.65	15.15
17.1	16.6	17.25	16.70	17.85	17.50
34.9	27.5	36.30	30.40	37.10	31.35
16.3	17.2	15.50	16.60	15.45	15.95
16.7	15.8	16.85	16.30	17.45	17.10
32.7	26.1	34.10	28.20	34.90	29.15
18.7	19.2	18.25	18.85	18.10	18.60
22.7	21.5	22.40	20.45	22.50	20.45
34.3	27.7	35.70	29.80	36.50	30.75
19.3	20.2	18.95	19.75	18.75	19.75
21.1	20.8	21.20	19.90	21.30	20.50
37.5	29.1	37.10	31.20	37.90	32.15
20.7	21.5	20.15	20.75	19.90	20.65
20.7	20.3	21.30	20.00	21.40	20.60
38.2	28.9	39.00	28.60	37.70	29.10
19.4	18.7	18.60	19.30	19.15	18.65
20.75	20	20.80	20.50	20.60	20.30
0	0	37.18	29.45	36.30	30.50
19.1	18.4	18.30	19.00	18.85	18.35
20.7	20.4	20.93	20.75	20.40	20.75
36.1	28	35.85	29.50	35.95	30.00
21.9	22.4	21.15	22.48	21.15	22.30
18.7	19.3	18.75	19.40	18.70	19.38
38.7	27	38.58	30.03	37.78	32.95
20.3	20.8	19.63	20.20	19.60	20.18
18	18.8	18.05	18.75	18.08	18.78
33.6	25.8	34.45	27.80	34.53	29.80
22.2	22.6	21.60	22.40	21.48	22.05
14.5	15.1	14.15	14.78	14.28	14.73
27.5	23.3	28.60	24.10	28.23	25.10
17.6	18.9	17.43	18.00	17.40	17.98
13.7	13.8	13.70	13.90	13.60	13.73
26.3	21.3	26.40	21.85	27.35	21.85
14.4	15.8	14.15	15.23	14.23	15.28
13.5	13.6	13.50	13.70	13.40	13.53
24.7	19.7	24.80	20.25	25.75	20.25
12.6	14.4	12.63	13.95	12.55	13.48
14.5	14.7	15.33	14.75	15.58	15.08
32.5	24.3	33.25	25.80	33.33	26.53
12.5	14.2	12.23	13.95	12.00	13.13

16.1	16.7	16.03	16.85	16.45	17.20
32.7	24.9	36.95	28.33	37.93	30.23
13.3	15	13.03	14.75	12.80	13.93
15.1	15.6	15.35	15.75	15.65	15.98
34.3	26.5	38.55	29.93	39.53	31.83
16.1	16.6	15.70	16.40	15.63	16.40
15.2	15.9	15.28	15.75	15.38	15.80
31.4	23.6	35.65	27.03	36.63	28.93
17.9	18.7	17.68	18.53	17.45	18.20
16.4	16.8	16.28	16.83	16.30	16.75

#### 4.3.4.- Medición del comportamiento en extremos de temperatura

Para poder lograr un gradiente extremo de manera que sirva para genera un modelo del comportamiento que las losas de pavimento rígido presenta, se llevó el procedimiento que se indica la parte final del punto 4.2, del cual se obtuvieron las medidas que se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 34: Medición de las temperaturas en la losa 1 y la contracción, dilatación y alabeo en temperaturas extremas.**

TEMPERATURA EN LA LOSA					
CENTRO		BORDE PROMEDIO		ESQUINA PROMEDIO	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
3.5	5.6	3.80	5.60	4.55	5.48
60.1	40.6	47.55	28.43	41.80	25.78

CONTRACCION	DILATACION	ALABEO EN ESQUINA			
		1	2	3	4
mm	mm	mm	mm	mm	mm
2		2.9	3	4	3
	4	2.6	2.45	3.4	2.3

**Tabla 35: Medición de las temperaturas en la losa 2 y la contracción, dilatación y alabeo en temperaturas extremas.**

TEMPERATURA EN LA LOSA					
CENTRO		BORDE PROMEDIO		ESQUINA PROMEDIO	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
58	38.5	45.45	26.33	39.10	23.08
7.5	14.4	8.33	14.35	8.85	15.00

CONTRACCION	DILATACION	ALABEO EN ESQUINA			
		1	2	3	4
mm	mm	mm	mm	mm	mm
	3.7	2	2.3	3.3	3
3.8		2.45	3.4	3.6	3.3

**Tabla 36: Medición de las temperaturas en la losa 3 y la contracción, dilatación y alabeo en temperaturas extremas.**

TEMPERATURA EN LA LOSA					
CENTRO		BORDE PROMEDIO		ESQUINA PROMEDIO	
SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
4.5	11.4	5.33	11.35	4.85	11.00
64	44.5	51.45	32.33	45.30	29.28

CONTRACCION	DILATACION	ALABEO EN ESQUINA			
		1	2	3	4
mm	mm	mm	mm	mm	mm
3		3.7	3.8	4.8	3.8
	4.2	2.4	2.25	3.2	2.1

#### 4.4.-Procesamiento de datos y relación del comportamiento con la temperatura

##### COMPORTAMIENTO DE LA LOSA 1 DURANTE LOS 4 PRIMEROS DIAS

Una vez vaciada la losa y paralelo al curado de la misma se ha observado el comportamiento que ella presenta durante los 4 primeros días a objeto de analizarlo. Como es conocido el hormigón sigue un proceso de fraguado, siguiendo por el endurecimiento del mismo; para seguridad de la rigidez de la losa se esperó 4 días para proceder a su levantamiento en apoyos y el posterior proceso de toma de datos y análisis de los mismos en la parte inferior y superior.

**Tabla 37: Temperaturas de la losa 1 en el centro, borde y esquina, de 4 días de edad.**

Las temperaturas que a continuación se presentan, fueron medidas durante los 4 primeros días cuando la losa se encontraba aun en el suelo en proceso de endurecimiento, por tanto los datos corresponden a la parte superior de la misma.

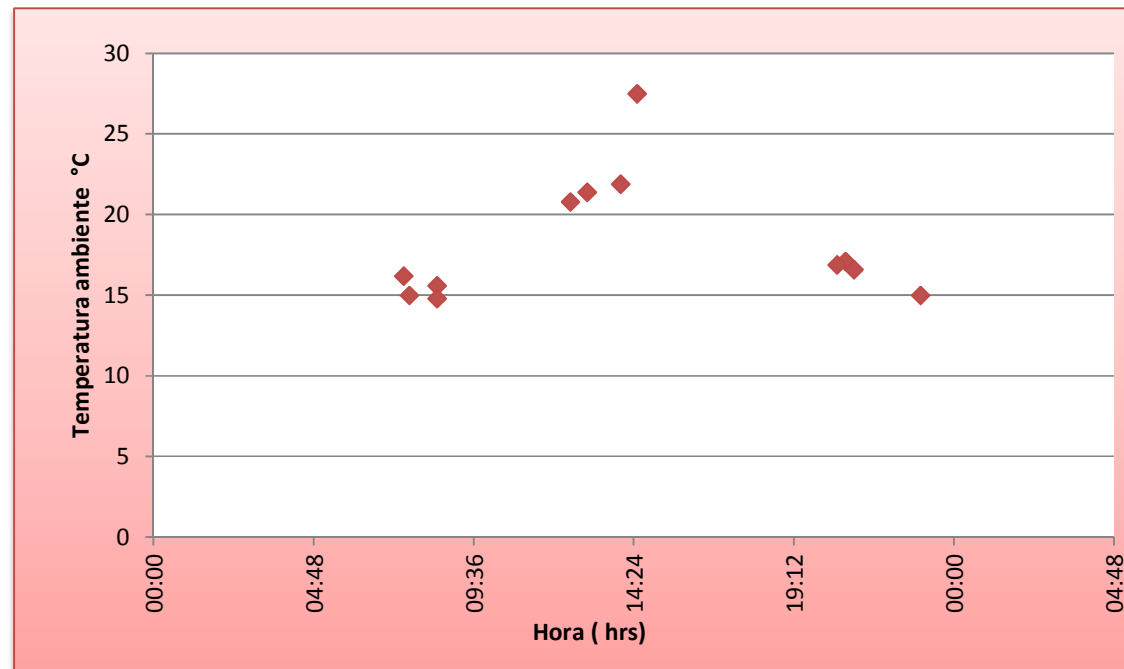
HORA	TEMPERATURA	CENTRO	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE PROMEDIO	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA PROMEDIO
		SUPERIOR	1	2	3	4		1	2	3	4	
8:30	15,6	17	17,2	16,8	17,2	16,6	16,95	17	17	16,5	16,3	16,70
12:30	20,8	20,2	20,2	20,5	20,3	20,3	20,33	20,3	19,9	19,8	20,1	20,03
20:45	17,1	17,6	16,9	17,6	17,8	17,3	17,40	17,1	17,1	16,9	17,6	17,18

7:40	15	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,70	15,7	15,7	15,4	15,7	15,63
13:00	21,4	20,3	20	19,9	21,1	20,1	20,28	20,3	19,8	20,3	20,1	20,13
21:00	16,6	16,5	16,3	16,1	16,1	16,2	16,18	16,5	16,3	16,2	16,5	16,38
8:30	14,8	14,6	14,6	14,6	14,6	14,4	14,55	14,8	14,6	14,4	14,6	14,60
14:00	21,9	21,1	21,1	21,2	22,2	21,6	21,53	21,1	21,5	22,1	21,6	21,58
20:30	16,9	16,2	15,9	16,2	16,2	16,1	16,10	16,4	16	16,2	16,1	16,18
7:30	16,2	13,8	13,7	13,8	13,8	13,5	13,70	13,8	13,8	13,7	13,3	13,65
14:30	27,5	21,4	22,3	21,8	21,2	0	16,33	21,7	22,3	21,6	21,5	21,78
23:00	15	14,9	14,4	14,7	14,5	14,7	14,58	14,2	14,5	14,3	14,5	14,38

La temperatura ambiente es la que influye en el comportamiento de las losas de pavimento rígido, sigue un ascenso o descenso en horas pico generando un ascenso de temperatura en la losa o un descenso, que originan una contracción o dilatación de la misma, como consecuencia ocurre el alabeo. Entonces se deduce que la temperatura ambiente es un factor importante en cuanto al comportamiento de las losas de pavimento rígido.

### **Gráfica 1: Comportamiento de la temperatura ambiente.**

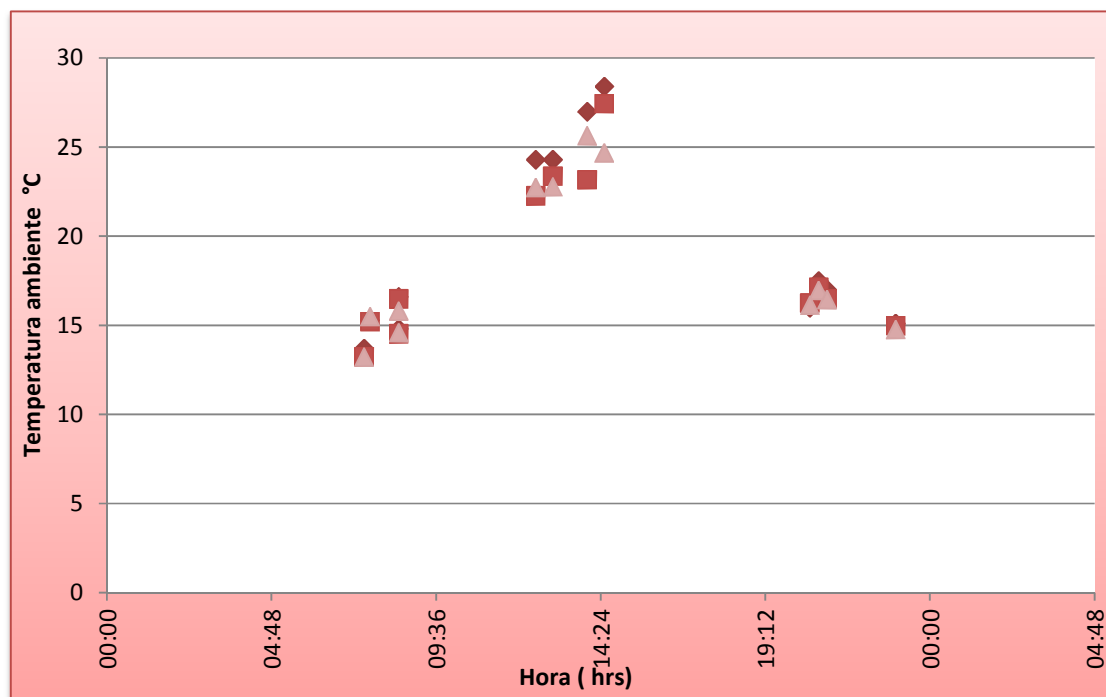
Indica el comportamiento de la temperatura del ambiente al que está sometida la losa 1, se observa que al inicio del día la temperatura es baja, al llegar el medio día asciende formando los picos que son notables en la gráfica y finalmente al llegar la noche desciende en este caso no llega a igualar o disminuir más que al amanecer, de donde se deduce y como algunos autores afirman que la temperatura más baja se encuentra en la madrugada y la mayor alrededor del mediodía.



**Gráfica 2: Comportamiento de temperaturas en la losa 1.**

Se observa en el gráfico que existe una variación de temperatura en la losa conforme de acuerdo a la temperatura ambiente, donde se ve claramente que las más elevadas se concentran en horas de alrededor de medio día, donde podemos decir que se presentan los mayores gradientes térmicos entre las caras de la losa, a inicio de la mañana se presentan las mínimas y en la noche

también se presentan temperaturas bajas. La diferencia entre el inicio de la mañana, mediodía y noche muestra el gradiente positivo, porque es donde la temperatura tiende a elevarse y un negativo cuando se ve en la grafica 2 que pasado el mediodía Nuevamente la temperatura en la losa descende.



## DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA CARA SUPERIOR E INFERIOR DE LA LOSA 1

Se mencionó en la teoría que durante el día la temperatura en la losa en la cara superior es mayor que en la cara inferior ocasionando esfuerzo de tracción en la cara superior y de compresión en la inferior, generando estos el alabeo. Los esfuerzos generados por la diferencia de temperatura entre la cara superior y la inferior de la losa además de influir en el alabeo también provocan fisuras o grietas, que mientras mayor sea esta diferencia mayor será el daño que provoque.

**Tabla 38: Diferencial de temperatura entre el superior e inferior de la losa.**

La tabla presenta los diferenciales de temperaturas entre las caras superiores e inferiores de la losa 1, en ella se observa que entre el centro, borde y esquina de la losa no se presenta mucha diferencia en los valores de la tabla en horas nocturnas, al amanecer este crece y en horas del mediodía sube estrepitosamente.

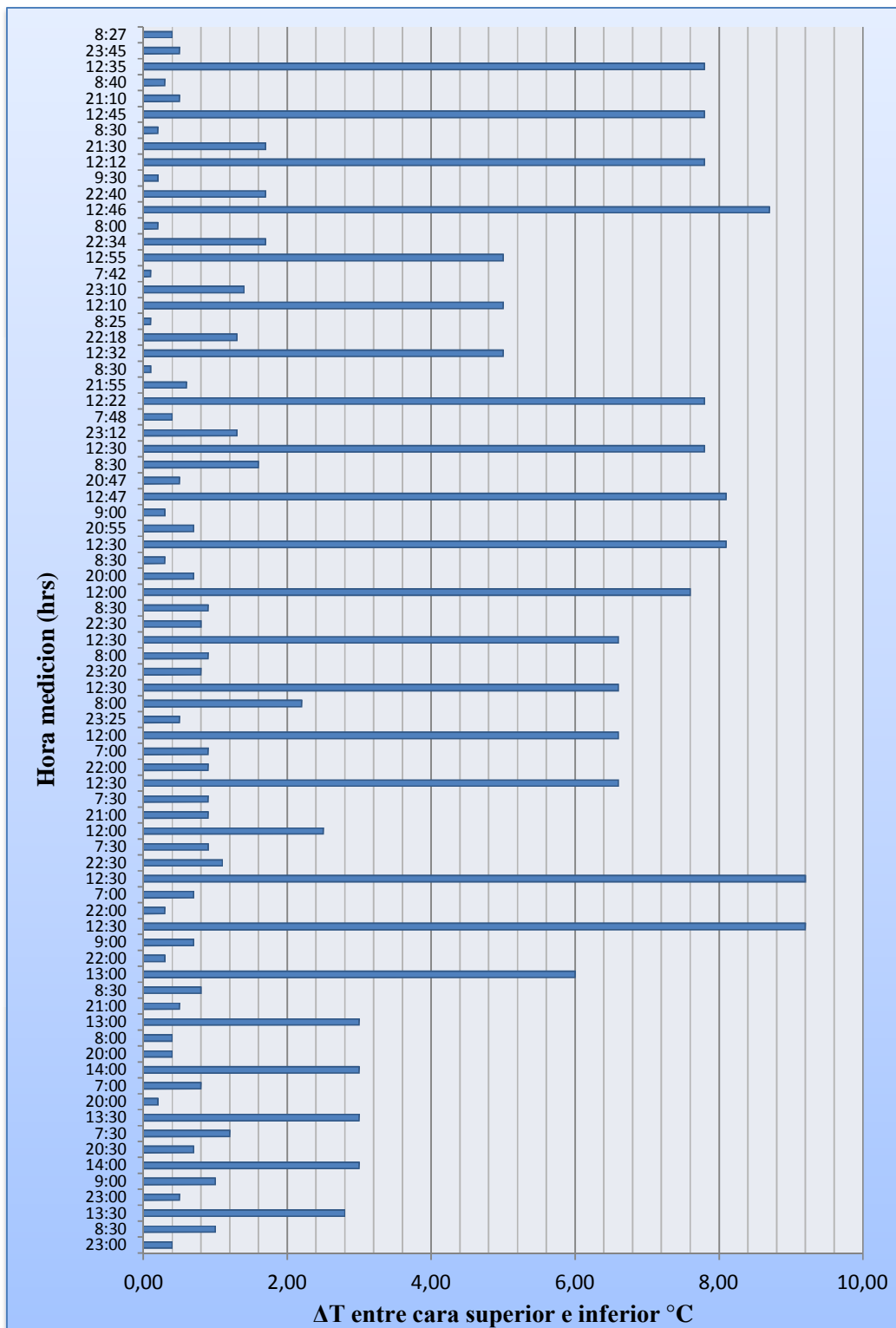
HORA	CENTRO	BORDE	ESQUINA
23:00	0.40	0.40	0.40
8:30	1.00	0.65	0.65
13:30	2.80	10.50	10.50
23:00	0.50	0.53	0.53
9:00	1.00	1.55	1.55
14:00	3.00	1.00	1.00
20:30	0.70	0.63	0.63
7:30	1.20	0.98	0.98
13:30	3.00	0.93	0.93
20:00	0.20	0.38	0.38
7:00	0.80	0.65	0.65
14:00	3.00	1.00	1.00
20:00	0.40	0.38	0.38
8:00	0.40	0.65	0.65

13:00	3.00	1.00	1.00
21:00	0.50	0.38	0.38
8:30	0.80	0.15	0.55
13:00	6.00	5.35	5.63
22:00	0.30	0.25	0.45
9:00	0.70	0.75	0.55
12:30	9.20	6.85	5.63
22:00	0.30	0.25	0.45
7:00	0.70	0.75	0.55
12:30	9.20	6.85	5.63
22:30	1.10	1.25	1.28
7:30	0.90	1.05	0.50
12:00	2.50	7.35	5.63
21:00	0.90	1.70	0.95
7:30	0.90	1.05	0.50
12:30	6.60	8.00	5.85
22:00	0.90	1.70	0.95
7:00	0.90	1.05	0.50
12:00	6.60	8.00	5.85
23:25	0.50	0.55	0.55
8:00	2.20	1.90	1.98
12:30	6.60	8.00	5.85
23:20	0.80	0.85	0.82
8:00	0.90	0.80	1.18
12:30	6.60	8.00	5.85
22:30	0.80	0.85	0.63
8:30	0.90	0.80	1.18
12:00	7.60	11.90	9.95
20:00	0.70	0.10	0.40
8:30	0.30	0.40	0.30
12:30	8.10	7.85	5.95
20:55	0.70	0.10	0.50
9:00	0.30	0.52	0.35
12:47	8.10	7.85	5.95
20:47	0.50	0.65	0.12
8:30	1.60	1.15	1.03
12:30	7.80	8.65	4.72
23:12	1.30	1.48	0.57
7:48	0.40	0.40	0.23

12:22	7.80	8.65	4.73
21:55	0.60	0.95	0.75
8:30	0.10	0.10	0.13
12:32	5.00	5.10	5.50
22:18	1.30	1.48	0.57
8:25	0.10	0.10	0.13
12:10	5.00	5.10	5.50
23:10	1.40	1.73	1.23
7:42	0.10	0.10	0.13
12:55	5.00	5.10	5.50
22:34	1.70	1.98	1.13
8:00	0.20	0.63	0.50
12:46	8.70	8.88	4.53
22:40	1.70	1.98	1.13
9:30	0.20	0.63	0.50
12:12	7.80	12.05	7.70
21:30	1.70	1.98	1.13
8:30	0.20	0.63	0.50
12:45	7.80	12.05	7.70
21:10	0.50	0.90	0.77
8:40	0.30	0.42	0.40
12:35	7.80	12.05	7.70
23:45	0.50	0.90	0.77
8:27	0.40	0.18	0.18

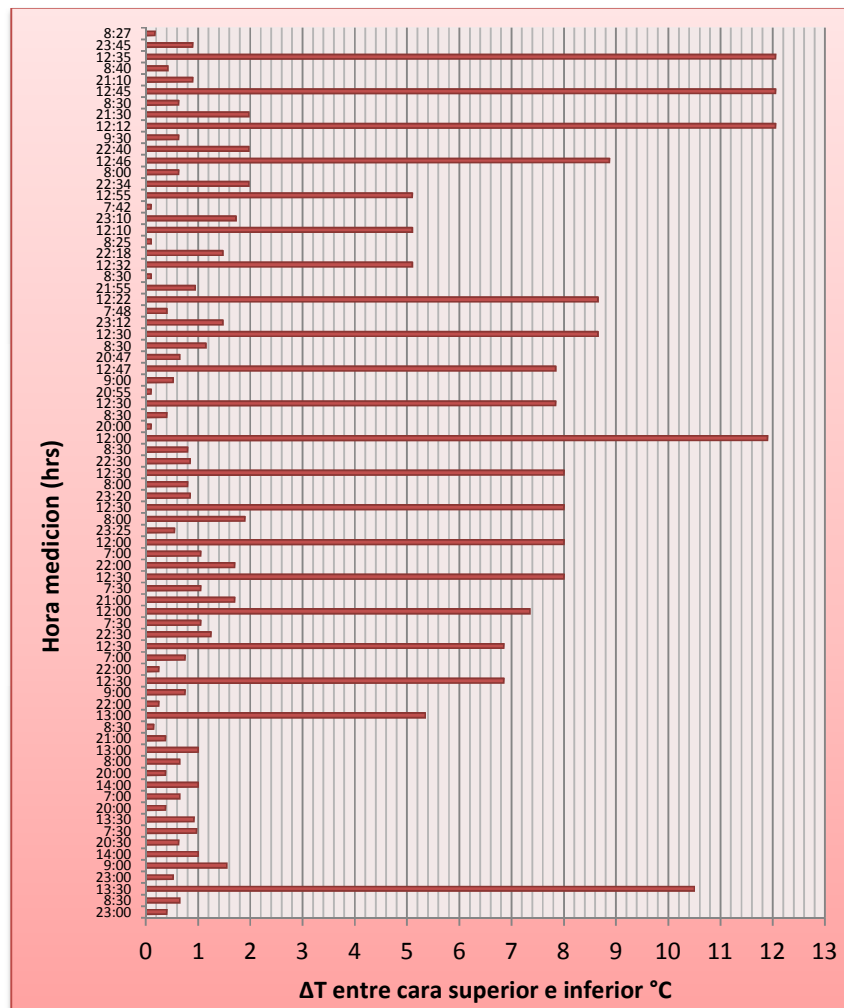
**Gráfica 3: Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en el centro de laLosa 1.**

Se observa en la gráfica que en horas de alrededor del mediodía ocurre el mayor diferencial de temperaturas entre caras por tanto es cuando las mitades superior e inferior sufren los mayores esfuerzos dejando las mayores consecuencias. Mientras que en horas nocturnas el diferencial desciende en gran magnitud a diferencia del amanecer que no difiere mucho del nocturno pero si del medio día.

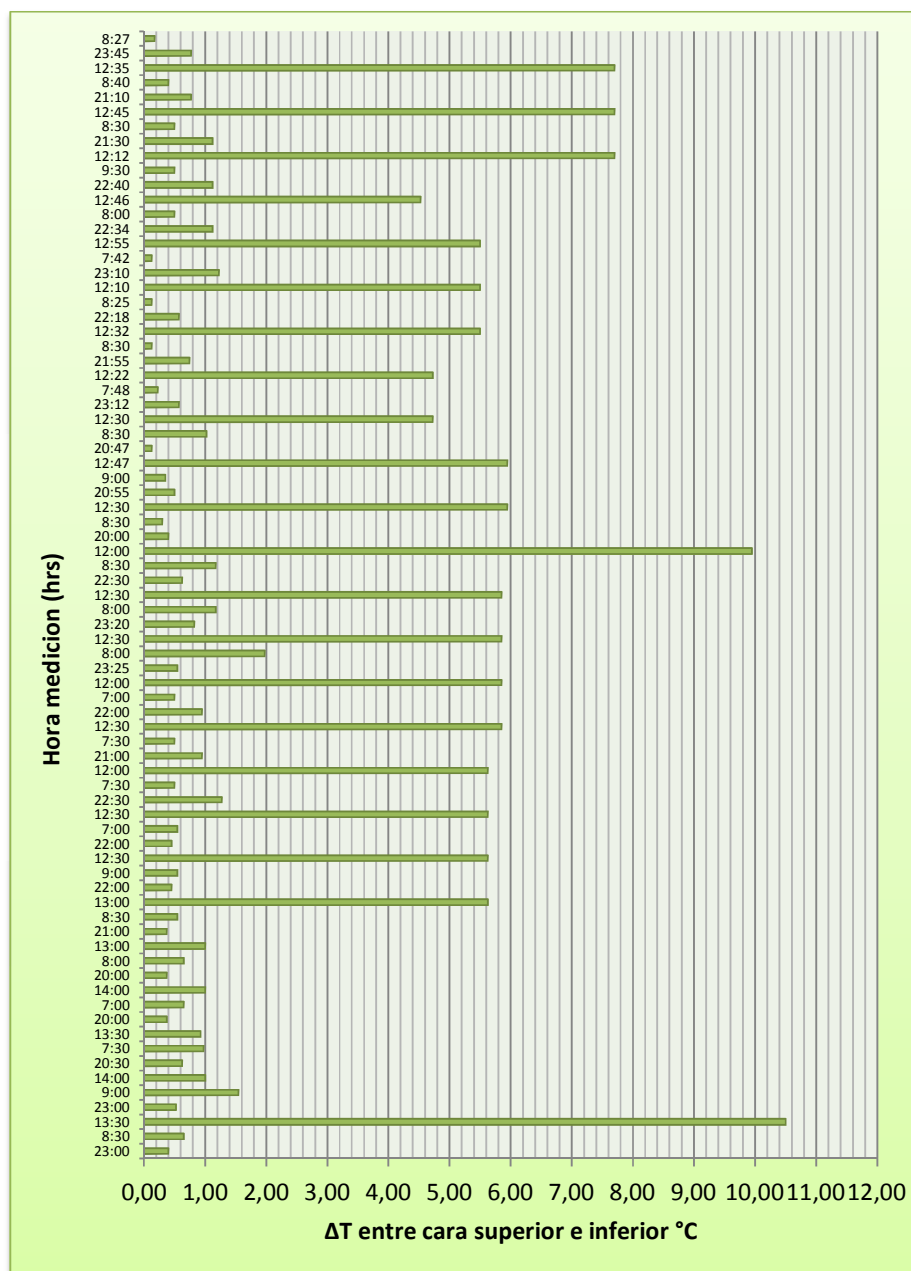


**Gráfica 4: Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en el borde de la losa 1.**

Se observa en la gráfica que en horas de alrededor del mediodía ocurre el mayor diferencial de temperaturas entre caras por tanto es cuando las mitades superior e inferior sufren los mayores esfuerzos dejando las mayores consecuencias. Mientras que en horas nocturnas el diferencial desciende en gran magnitud a diferencia del amanecer que no difiere mucho del nocturno pero si del medio día. Por ser el diferencial del borde se observa un ascenso en horas de mayor calor, en algunos de los diferenciales al amanecer se nota cierta reducción y en varios un relativo ascenso en la noche.



**Gráfica 5: Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en la esquina de lalosa 1.** Se observa en la gráfica el mismo comportamiento común en la esquina que en el centro y borde. La mayoría de estos diferenciales se encuentran entre los del borde y el centro, aunque no todos.



### MEDICION DE LA CONTRACCION Y DILATACION DE LA LOSA 1.

Los datos que a continuación se presentan corresponden únicamente a la contracción y dilatación debido a la variación de la temperatura, que se observó durante el periodo de mayor riesgo, hasta alcanzar el 100% de su resistencia.

**Tabla 39: Medición de la dilatación u contracción debido a la temperatura.**

En ella se presentan los valores de la contracción o dilatación en cada caso correspondientes a cierta temperatura promedio en la losa obtenida como un promedio de las mediciones de temperaturas en el borde, centro y esquina de la cara superior e inferior. Cuando se produce un aumento de temperatura ocurre el efecto de la dilatación debido a un gradiente positivo, lo contrario se produce cuando la temperatura baja dejando un gradiente negativo, la losa se contrae.

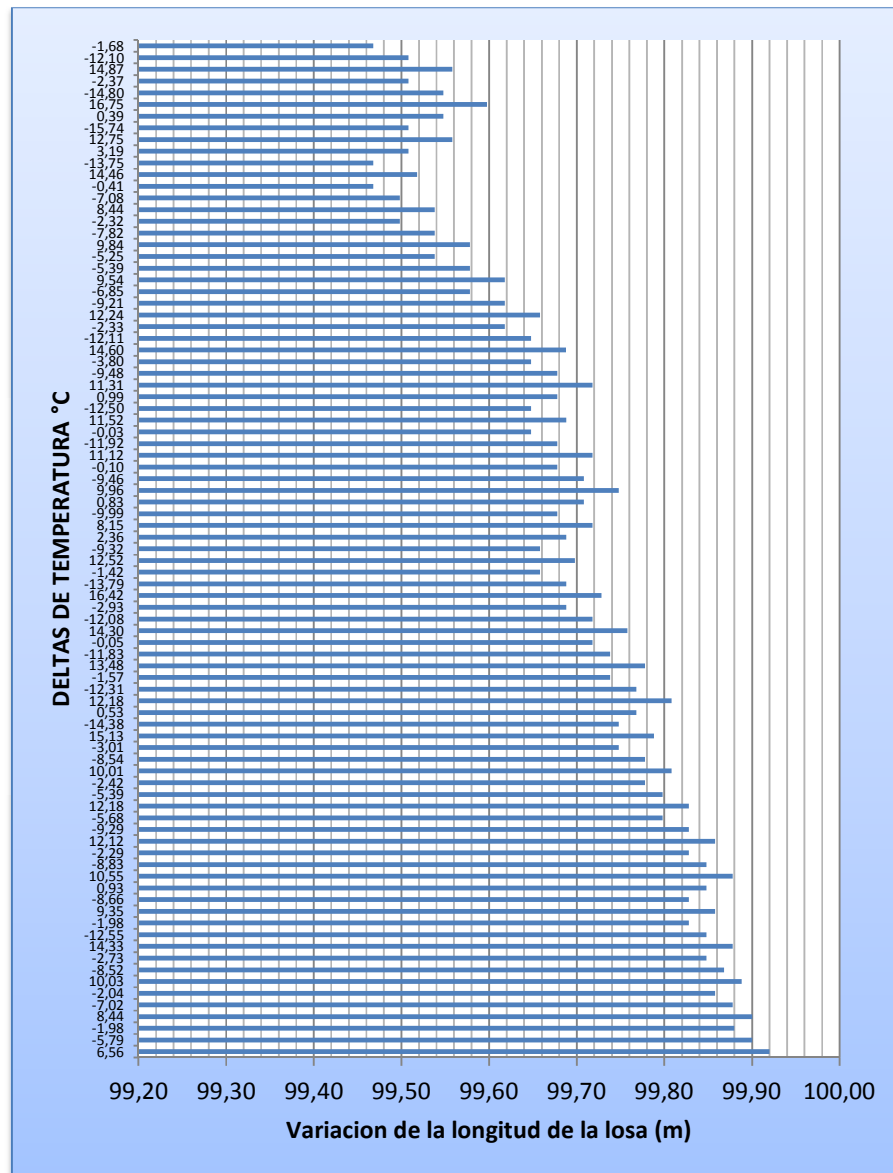
EDAD	HORA	TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$	LADO1 (mm)	LADO2 (mm)	EFEECTO
1	8:30	16.46		999.00	998.50	RETRACCION
1	12:30	23.02	6.56	999.30	998.80	DILATACION
1	20:45	17.23	-5.79	999.00	998.50	CONTRACCION
2	7:40	15.25	-1.98	998.75	998.25	CONTRACCION
2	13:00	23.69	8.44	999.10	998.60	DILATACION
2	21:00	16.68	-7.02	998.80	998.30	CONTRACCION
3	8:30	14.63	-2.04	998.55	998.05	CONTRACCION
3	14:00	24.67	10.03	998.90	998.40	DILATACION
3	20:30	16.15	-8.52	998.55	998.05	CONTRACCION
4	7:30	13.43	-2.73	998.25	997.75	CONTRACCION
4	14:30	27.75	14.33	998.70	998.20	DILATACION
4	23:00	15.20	-12.55	998.30	997.80	CONTRACCION
5	8:30	13.23	-1.98	998.00	997.50	CONTRACCION
5	13:30	22.58	9.35	998.40	997.90	DILATACION
5	23:00	13.92	-8.66	998.05	997.55	CONTRACCION
6	9:00	14.85	0.93	998.35	997.85	DILATACION
6	14:00	25.40	10.55	998.75	998.25	DILATACION
6	20:30	16.58	-8.83	998.35	997.85	CONTRACCION
7	7:30	14.28	-2.29	998.05	997.55	CONTRACCION

7	13:30	26.40	12.12	998.50	998.00	DILATACION
7	20:00	17.11	-9.29	998.10	997.60	CONTRACCION
8	7:00	11.43	-5.68	997.75	997.25	CONTRACCION
8	14:00	23.60	12.18	998.20	997.70	DILATACION
8	20:00	18.21	-5.39	997.85	997.35	CONTRACCION
9	8:00	15.79	-2.42	997.50	997.00	CONTRACCION
9	13:00	25.80	10.01	997.95	997.45	DILATACION
9	21:00	17.26	-8.54	997.55	997.05	CONTRACCION
10	8:30	14.25	-3.01	997.20	996.70	CONTRACCION
10	13:00	29.38	15.13	997.70	997.20	DILATACION
10	22:00	15.00	-14.38	997.20	996.70	CONTRACCION
11	9:00	15.53	0.53	997.55	997.05	DILATACION
11	12:30	27.71	12.18	998.05	997.55	DILATACION
11	22:00	15.40	-12.31	997.55	997.05	CONTRACCION
12	7:00	13.83	-1.57	997.20	996.70	CONTRACCION
12	12:30	27.31	13.48	997.70	997.20	DILATACION
12	22:30	15.48	-11.83	997.20	996.70	CONTRACCION
13	7:30	15.43	-0.05	996.85	996.35	CONTRACCION
13	12:00	29.73	14.30	997.40	996.90	DILATACION
13	21:00	17.65	-12.08	996.90	996.40	CONTRACCION
14	7:30	14.73	-2.93	996.50	996.00	CONTRACCION
14	12:30	31.14	16.42	997.10	996.60	DILATACION
14	22:00	17.35	-13.79	996.55	996.05	CONTRACCION
15	7:00	15.93	-1.43	996.15	995.65	CONTRACCION
15	12:00	28.44	12.52	996.70	996.20	DILATACION
15	23:25	19.13	-9.32	996.20	995.70	CONTRACCION
16	8:00	21.49	2.36	996.60	996.10	DILATACION
16	12:30	29.64	8.15	997.10	996.60	DILATACION
16	23:20	19.65	-9.99	996.60	996.10	CONTRACCION
17	8:00	20.48	0.82	997.00	996.50	DILATACION
17	12:30	30.44	9.96	997.50	997.00	DILATACION
17	22:30	20.98	-9.46	997.00	996.50	CONTRACCION
18	8:30	20.88	-0.10	996.60	996.10	CONTRACCION
18	12:00	32.00	11.12	997.15	996.65	DILATACION
18	20:00	20.08	-11.92	996.60	996.10	CONTRACCION
19	8:30	20.05	-0.03	996.20	995.70	CONTRACCION
19	12:30	31.57	11.52	996.75	996.25	DILATACION
19	20:55	19.07	-12.50	996.15	995.65	CONTRACCION
20	9:00	20.05	0.99	996.55	996.05	DILATACION
20	12:47	31.37	11.31	997.10	996.60	DILATACION
20	20:47	21.89	-9.48	996.55	996.05	CONTRACCION

21	8:30	18.09	-3.80	996.10	995.60	CONTRACCION
21	12:30	32.70	14.60	996.75	996.25	DILATACION
21	23:12	20.58	-12.11	996.15	995.65	CONTRACCION
22	7:48	18.25	-2.33	995.70	995.20	CONTRACCION
22	12:22	30.50	12.24	996.30	995.80	DILATACION
22	21:55	21.28	-9.21	995.75	995.25	CONTRACCION
23	8:30	14.44	-6.85	995.20	994.70	CONTRACCION
23	12:32	23.98	9.54	995.75	995.25	DILATACION
23	22:18	18.58	-5.39	995.25	994.75	CONTRACCION
24	8:25	13.34	-5.25	994.75	994.25	CONTRACCION
24	12:10	23.18	9.84	995.35	994.85	DILATACION
24	23:10	15.36	-7.82	994.80	994.30	CONTRACCION
25	7:42	13.04	-2.32	994.30	993.80	CONTRACCION
25	12:55	21.48	8.44	994.90	994.40	DILATACION
25	22:34	14.40	-7.08	994.35	993.85	CONTRACCION
26	8:00	13.99	-0.41	993.85	993.35	CONTRACCION
26	12:46	28.45	14.46	994.50	994.00	DILATACION
26	22:40	14.70	-13.75	993.85	993.35	CONTRACCION
27	9:30	17.89	3.19	994.35	993.85	DILATACION
27	12:12	30.64	12.75	995.00	994.50	DILATACION
27	21:30	14.90	-15.74	994.30	993.80	CONTRACCION
28	8:30	15.29	0.39	994.80	994.30	DILATACION
28	12:45	32.04	16.75	995.55	995.05	DILATACION
28	21:10	17.24	-14.80	994.80	994.30	CONTRACCION
29	8:40	14.87	-2.37	994.25	993.75	CONTRACCION
29	12:35	29.74	14.87	994.95	994.45	DILATACION
29	23:45	17.64	-12.10	994.30	993.80	CONTRACCION
30	8:27	15.95	-1.68	993.80	993.30	CONTRACCION

### Gráfica 6: Evolución de la longitud de la losa de acuerdo con el gradiente

**térmico.** Se observa que en casi todos los datos la dilatación ocurre en el gradiente positivo y la contracción en el negativo. Se nota claramente en la gráfica que a pesar de la dilatación la losa se contrae más, debido a que además de la contracción por temperatura, se suma a esta la contracción por secado (no estudiada en esta investigación); y no así existe por tratarse de la época en que se realizó la medición, un factor como la humedad que coadyuva a la dilatación.



**Tabla 40: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura.**

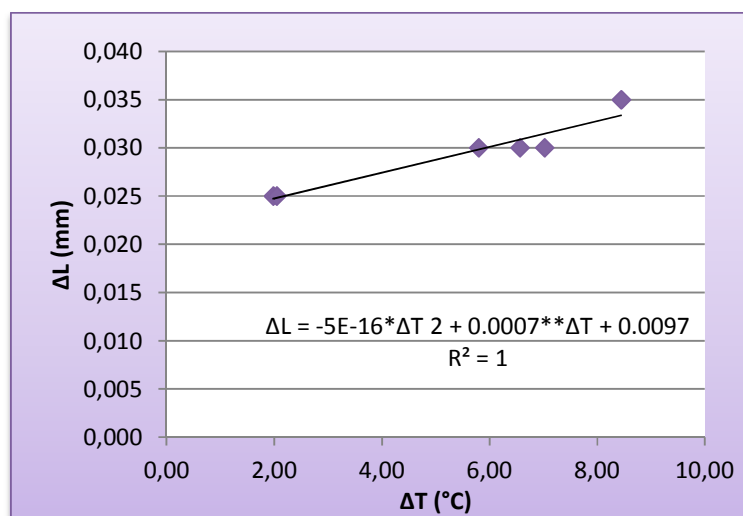
Se obtuvieron calculando la diferencia de longitud entre la mañana, medio día y noche, de la losa 1; 1 - 7 días de edad.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ (mm)
6.56	0.30
5.79	0.30

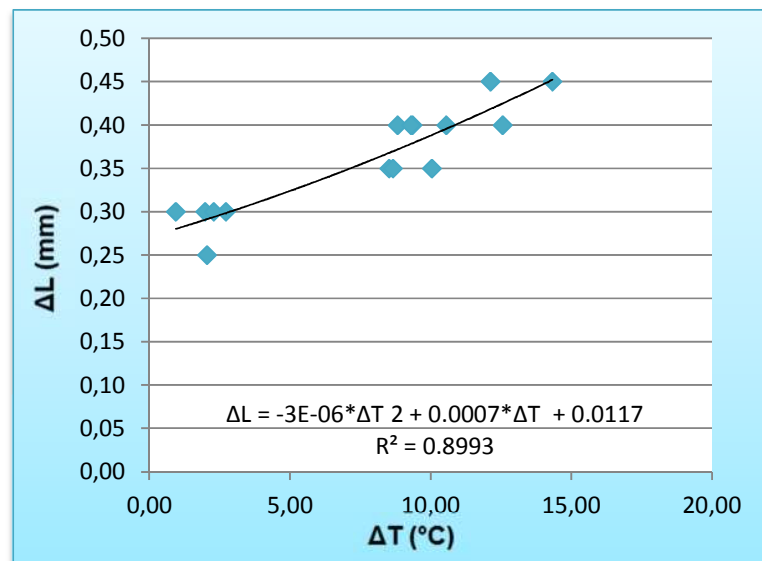
1.98	0.25
8.44	0.35
7.02	0.30
2.04	0.25
10.03	0.35
8.52	0.35
2.73	0.30
14.33	0.45
12.55	0.40
1.98	0.30
9.35	0.40
8.66	0.35
0.93	0.30
10.55	0.40
8.83	0.40
2.29	0.30
12.12	0.45
9.29	0.40

**Gráfica 7: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 1 a 2 en edad.**

Se observa que el diferencial de longitud tiene una tendencia ascendente dependiente del diferencial de temperaturas.



**Gráfica 8: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 3 a 7 en edad.**



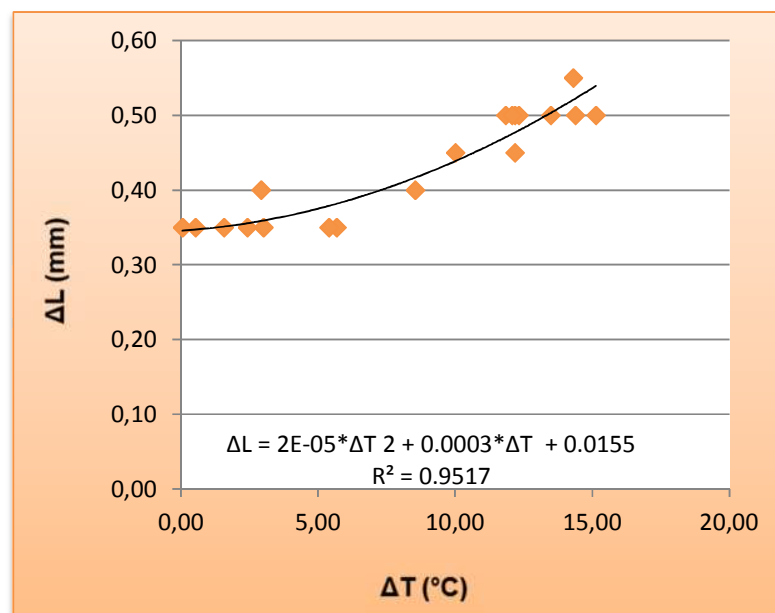
**Tabla 41: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 8 - 14 días.**

$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta L$ (mm)
5.68	0.35
12.18	0.45
5.39	0.35
2.42	0.35
10.01	0.45
8.54	0.40
3.01	0.35
15.13	0.50
14.38	0.50
0.53	0.35

12.18	0.50
12.31	0.50
1.57	0.35
13.48	0.50
11.83	0.50
0.05	0.35
14.30	0.55
12.08	0.50
2.93	0.40

**Gráfica 9: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 8 a 14 en edad.**

Entre el día 8 - 14 de edad de la losa de pavimento rígido, se observa que tiende a ascender polinómicamente el diferencial de longitud respecto al de temperaturas.



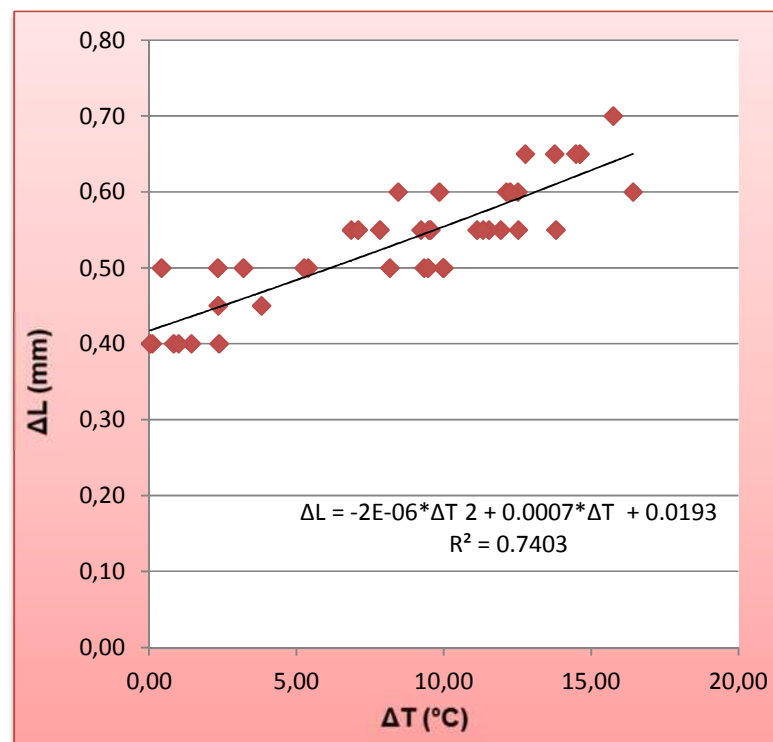
**Tabla 42: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 15 – 27 días.**

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ (mm)
16.42	0.60
13.79	0.55
1.43	0.40
12.52	0.55
9.32	0.50
2.36	0.40
8.15	0.50
9.99	0.50
0.82	0.40
9.96	0.50
9.46	0.50
0.10	0.40
11.12	0.55
11.92	0.55
0.03	0.40
11.52	0.55
12.50	0.60
0.99	0.40
11.31	0.55
9.48	0.55
3.80	0.45
14.60	0.65
12.11	0.60
2.33	0.45
12.24	0.60
9.21	0.55
6.85	0.55
9.54	0.55
5.39	0.50
5.25	0.50
9.84	0.60
7.82	0.55
2.32	0.50
8.44	0.60
7.08	0.55
0.41	0.50
14.46	0.65

13.75	0.65
3.19	0.50
12.75	0.65
15.74	0.70

**Gráfica 10: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 15 a 27 en edad.**

Entre el día 15 - 27 de edad de la losa de pavimento rígido, se observa que tiende a ascender polifónicamente el diferencial de longitud respecto al de temperaturas.

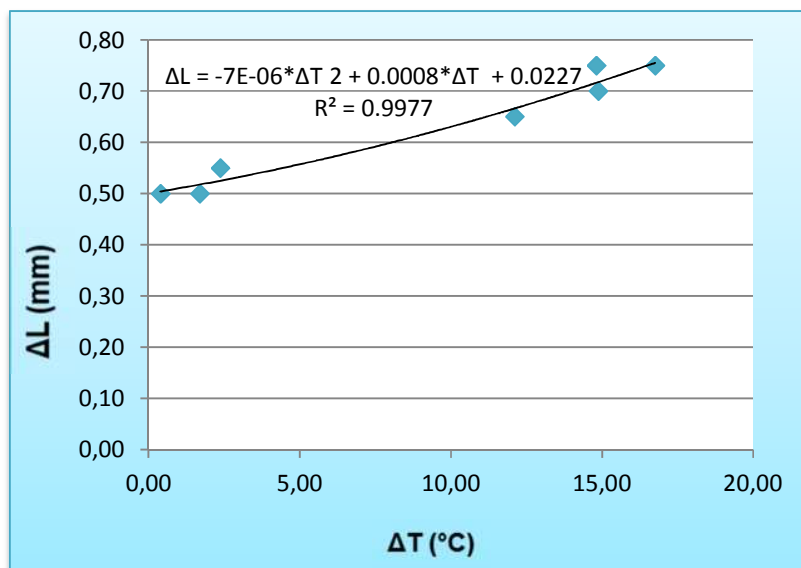


**Tabla 43: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 28 - 30 días.**

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ (mm)
0.39	0.50
16.75	0.75
14.80	0.75
2.37	0.55
14.87	0.70
12.10	0.65
1.68	0.50

**Gráfica 11: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 28 a 30 en edad.**

Entre el día 28 - 30 de edad de la losa de pavimento rígido, se observa que tiende a ascender linealmente el diferencial de longitud respecto al de temperaturas.



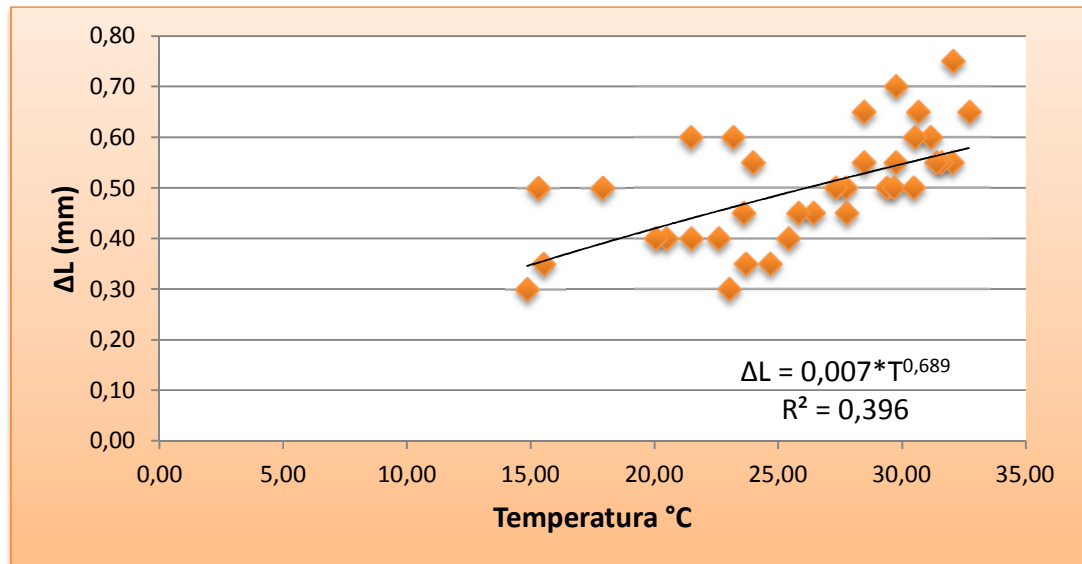
## DILATACION DE LA LOSA 1

**Tabla 44: Deltas de longitud según temperatura.**

<b>Tempe. Promedio° C</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>
23.02	0.30
23.69	0.35
24.67	0.35
27.75	0.45
22.58	0.40
14.85	0.30
25.40	0.40
26.40	0.45
23.60	0.45
25.80	0.45
29.38	0.50
15.53	0.35
27.71	0.50
27.31	0.50
29.73	0.55
31.14	0.60
28.44	0.55
21.49	0.40
29.64	0.50
20.48	0.40
30.44	0.50
32.00	0.55
31.57	0.55
20.05	0.40
31.37	0.55
32.70	0.65
30.50	0.60
23.98	0.55
23.18	0.60
21.48	0.60
28.45	0.65
17.89	0.50
30.64	0.65
15.29	0.50
32.04	0.75
29.74	0.70

**Gráfica 12: Comportamiento de la dilatación ante la temperatura.**

Se observa una correlación aceptable potencial de la dilatación de la losa 1, por lo que se deduce que a mayor temperatura mayor dilatación.



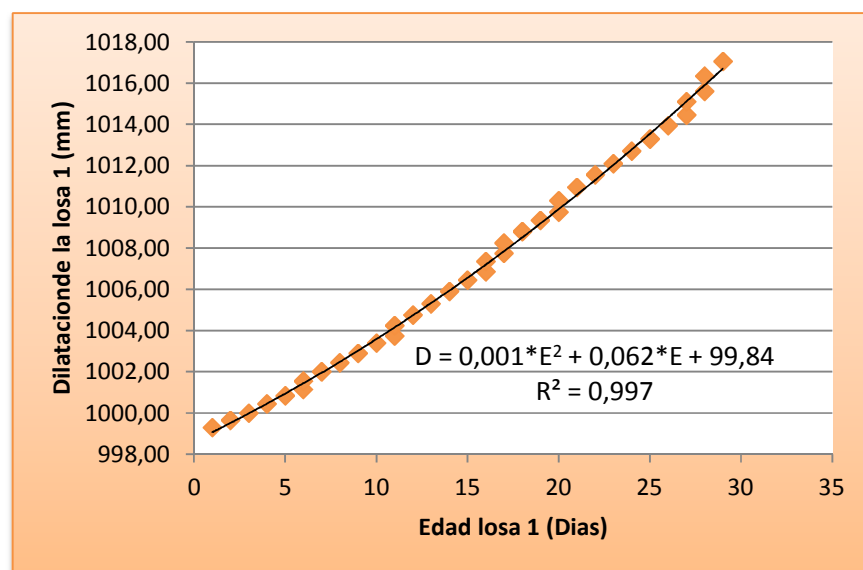
## DILATACION SEGÚN LA EDAD

Tabla 45: Longitud según edad de la losa 1.

EDAD	L (mm)
1	999.30
2	999.65
3	1000.00
4	1000.45
5	1000.85
6	1001.15
6	1001.55
7	1002.00
8	1002.45
9	1002.90
10	1003.40
11	1003.75
11	1004.25
12	1004.75
13	1005.30
14	1005.90

15	1006.45
16	1006.85
16	1007.35
17	1007.75
17	1008.25
18	1008.80
19	1009.35
20	1009.75
20	1010.30
21	1010.95
22	1011.55
23	1012.10
24	1012.70
25	1013.30
26	1013.95
27	1014.45
27	1015.10
28	1015.60
28	1016.35
29	1017.05

**Gráfica 13: Comportamiento de la dilatación de la losa 1 de acuerdo a la edad.** La dilatación de la losa se comporta polifónicamente de acuerdo a la edad esto, significa que la dilatación aumente según la edad del concreto.



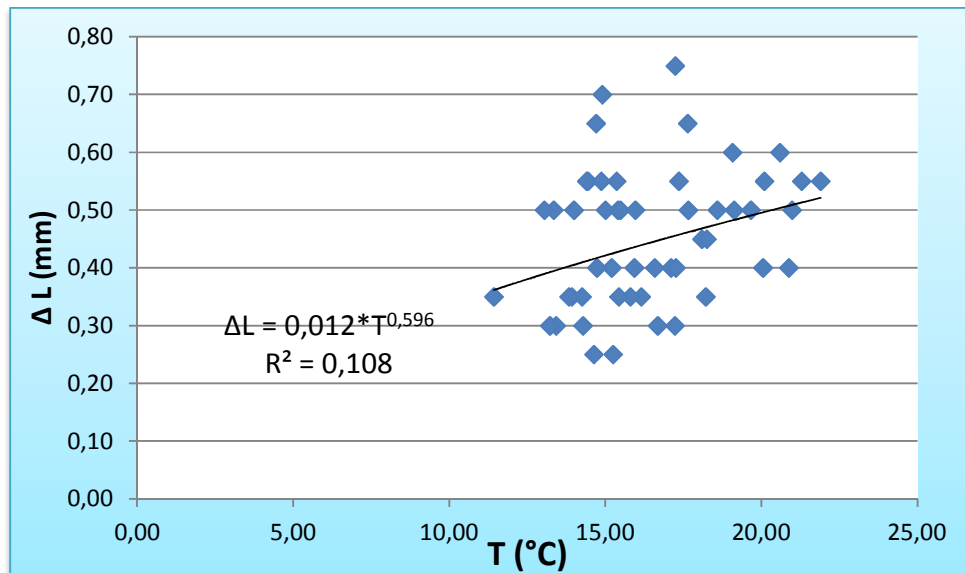
## CONTRACCION DE LA LOSA 1

**Tabla 46: Deltas de longitud según temperatura para contracción losa 1.**

Tempe. °C	$\Delta L$ (mm)
17.23	0.30
15.25	0.25
16.68	0.30
14.63	0.25
16.15	0.35
13.43	0.30
15.20	0.40
13.23	0.30
13.92	0.35
16.58	0.40
14.28	0.30
17.11	0.40
11.43	0.35
18.21	0.35
15.79	0.35
17.26	0.40
14.25	0.35
15.00	0.50
15.40	0.50
13.83	0.35
15.48	0.50
15.43	0.35
17.65	0.50
14.73	0.40
17.35	0.55
15.93	0.40
19.13	0.50
19.65	0.50
20.98	0.50
20.88	0.40
20.08	0.55
20.05	0.40
19.07	0.60
21.89	0.55
18.09	0.45
20.58	0.60
18.25	0.45
21.28	0.55

14.44	0.55
18.58	0.50
13.34	0.50
15.36	0.55
13.04	0.50
14.40	0.55
13.99	0.50
14.70	0.65
14.90	0.70
17.24	0.75
14.87	0.55
17.64	0.65
15.95	0.50

**Gráfica 14: Comportamiento de la contracción ante la temperatura.** Se observa que no existe una correlación entre los datos, esto se debe a varios factores entre los cuales tenemos la influencia de la contracción por secado además de la edad de la losa, esto se muestra claramente anteriormente donde se ve que existe una buena correlación entre los datos medidos de contracción ordenados de acuerdo a su edad.

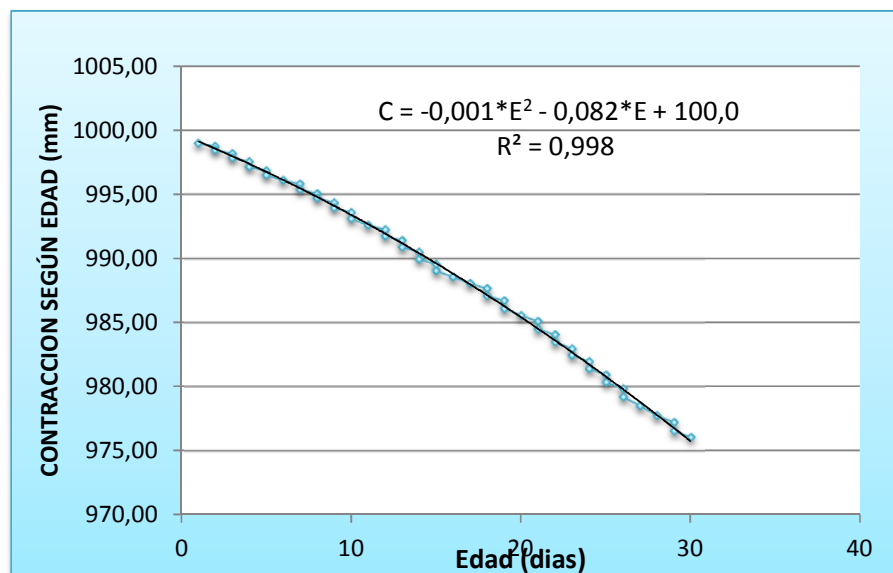


**CONT RACCION SEGÚN LA EDAD****Tabla 47: Longitud según edad de la losa 1.**

EDAD	L (mm)
1	999.00
2	998.75
2	998.45
3	998.20
3	997.85
4	997.55
4	997.15
5	996.85
5	996.50
6	996.10
7	995.80
7	995.40
8	995.05
8	994.70
9	994.35
9	993.95
10	993.60
10	993.10
11	992.60
12	992.25
12	991.75
13	991.40
13	990.90
14	990.50
14	989.95
15	989.55
15	989.05
16	988.55
17	988.05
18	987.65
18	987.10
19	986.70
19	986.10
20	985.55
21	985.10
21	984.50

22	984.05
22	983.50
23	982.95
23	982.45
24	981.95
24	981.40
25	980.90
25	980.35
26	979.85
26	979.20
27	978.50
28	977.75
29	977.20
29	976.55
30	976.05

**Gráfica 15: Comportamiento de la dilatación de la losa 1 de acuerdo a la edad.** La dilatación de la losa se comporta polinómicamente de acuerdo a la edad esto significa que la dilatación aumente según la edad del concreto.



### ALABEO DE LA LOSA 1

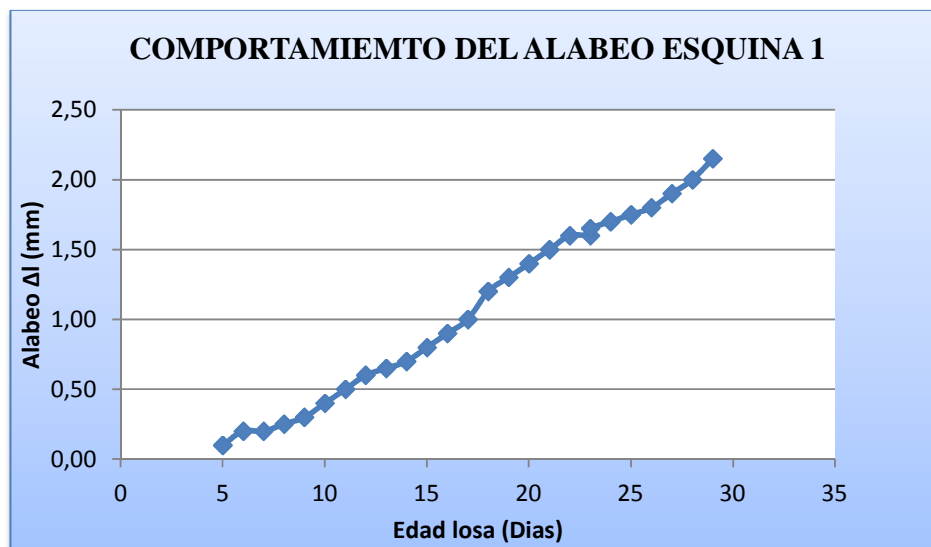
**Tabla 48: Alabeo de la losa 1.** Debido a la contracción y dilatación de la losa se generan esfuerzos de tensión y tracción, como consecuencia ocurre el alabeo en las losas, deformación que se observó en las esquinas de la losa 1, por tratarse de mediciones pequeñas se logra con un vernier tener una buena precisión ante este efecto.

<b>EDAD</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 1</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 2</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 3</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 4</b>
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Días	mm	mm	mm	mm
5	0,10	0,15	0,15	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,25	0,20
8	0,25	0,25	0,25	0,20
9	0,30	0,25	0,30	0,25
10	0,40	0,30	0,40	0,30
11	0,50	0,50	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,65	0,60	0,60	0,65
14	0,70	0,70	0,70	0,70
15	0,80	0,80	0,80	0,85
16	0,90	0,95	0,90	0,90
17	1,00	1,00	1,00	1,00
18	1,20	1,20	1,20	1,20
19	1,30	1,30	1,30	1,30
20	1,40	1,40	1,40	1,40
21	1,50	1,50	1,50	1,40
22	1,60	1,60	1,60	1,50
23	1,60	1,70	1,60	1,60
23	1,65	1,70	1,65	1,65
24	1,70	1,70	1,70	1,65
25	1,75	1,80	1,80	1,70
26	1,80	1,80	1,90	1,80
27	1,90	1,90	2,05	1,95
28	2,00	2,00	2,20	2,00
29	2,15	2,10	2,30	2,20

## ALABEO EN LA ESQUINA 1

### Grafica 16 :Alabeo de la esquina 1 de la losa 1.

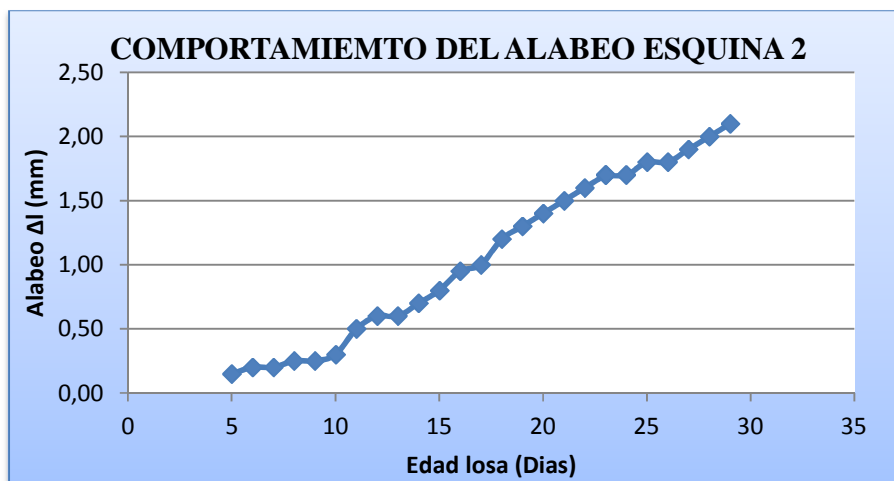
Se ha observado que el alabeo crece a medida que la losa adquiere mayor edad, no tiene un comportamiento lineal ya que este actúa de acuerdo al gradiente de temperatura entre la cara superior e inferior de la losa pues el efecto de mayor temperatura en la cara superior de la losa que ocurre durante el día contrarresta el alabeo que ha sufrido durante la noche cuando la cara superior tenía una temperatura menor que la inferior.



## ALABEO EN LA ESQUINA 2

### Gráfica 17 :Alabeo de la esquina 2 de la losa 1.

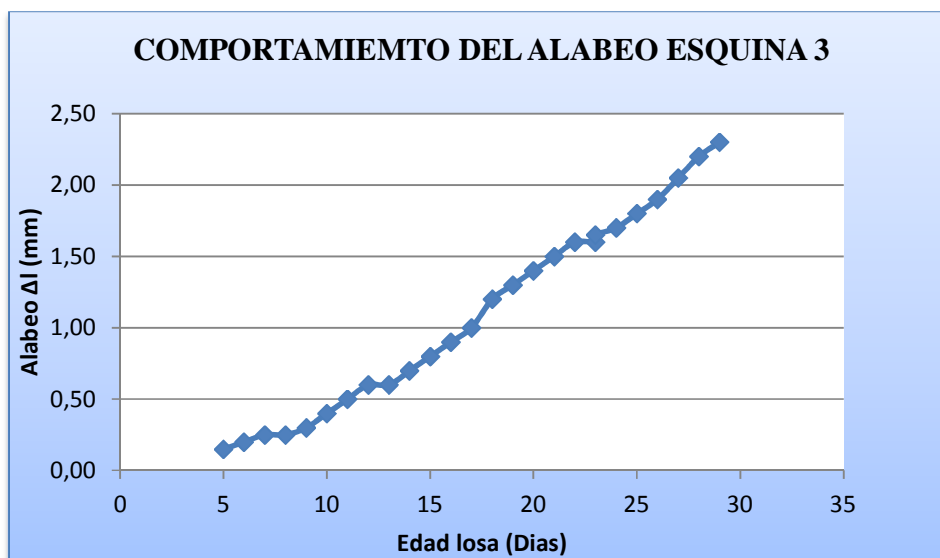
Se ha observado que el alabeo de la esquina 2 tiene un comportamiento similar al de la esquina 1, salvo que a la misma edad presenta ciertas, pequeñas variaciones de medida. Debido a que la losa de pavimento rígido tiene una reacción diferente en cada lugar de la misma por su posición y distribución de materiales que la componen pues a pesar de existir métodos para lograr la uniformidad en la práctica ocurren ciertas variaciones.



### ALABEO EN LA ESQUINA 3

**Gráfica 18: Alabeo de la esquina 3 de la losa 1.**

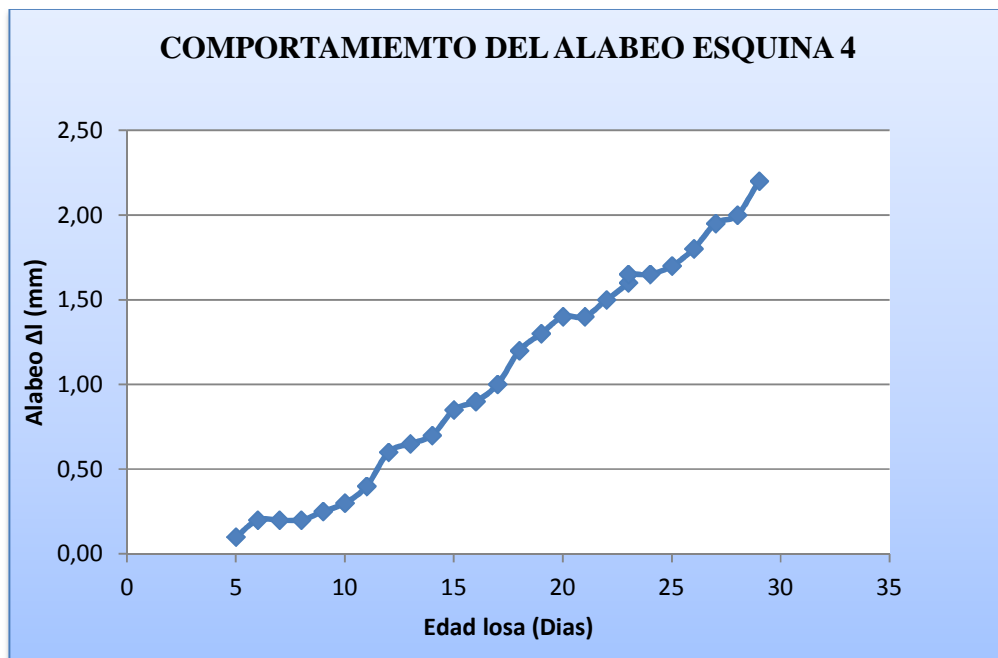
Se observa en la gráfica la tendencia ascendente del alabeo en la esquina 3 cuando adquiere mayor edad, quiere decir que ha existido una mayor compresión que dilatación. Presenta un comportamiento similar a las demás esquinas de la losa, siendo la que mayor Alabeo adquirió aunque no muy diferenciado de las demás.



## ALABEO EN LA ESQUINA 4

### Gráfica 19: Alabeo de la esquina 4 de la losa 1.

Se observa en la gráfica que el alabeo al igual que las demás esquinas de la losa asciende, aunque no en la misma medida por lo que se ven curvas pequeñas pero notorias, que indican el resultado de la contracción y dilatación, a causa de las diferentes temperaturas a la que está sometida la losa de pavimento rígido.



## COMPORTAMIENTO DE LA LOSA 2 DURANTE LOS 4 PRIMEROS DIAS

Para un seguimiento adecuado del comportamiento del pavimento rígido se vació una segunda losa para observar y medir las deformaciones a ser estudiadas en esta investigación, con objeto de ver si el comportamiento es similar en las losas de pavimento rígido o existe cierta variación. Como ocurrió con la primera losa se esperó a que esta segunda adquiriera cierta resistencia para recién elevarla y así poder seguir su comportamiento para no correr el riesgo que se quiebre o malogre por su manipulación.

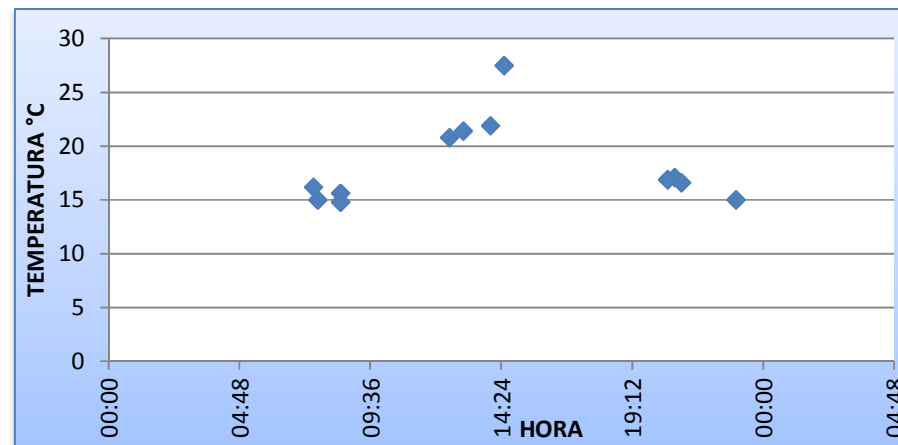
**Tabla 49: Temperaturas de la losa 2 en el centro, borde y esquina, de 4 días de edad.** Las temperaturas fueron tomadas en el centro, borde y esquina de la losa en la parte superior, durante los 4 primeros días para poder evaluar el comportamiento que presenta la losa 2 en ese tiempo previo a su elevación. Además se presenta en la misma la temperatura ambiente pues se sabe que no es la misma que la losa en unos casos es menor cuando se la mide en la sombra y mayor por el medio día cuando se la toma en el sol pues este emite los rayos solares directo al termómetro

HORA	TEMPERATURA AMBIENTE	CENTRO	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE PROMEDIO	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA PROMEDIO
hrs	°C	°C	1	2	3	4	°C	1	2	3	4	°C
8:30	15,6	17	17	17	17,5	17,2	17,18	16,8	16,8	17,7	16,7	17,00
12:30	20,8	20,2	20,3	19,9	20,2	20,3	20,18	20,3	20,3	20,3	19,8	20,18
20:45	17,1	17,1	16,6	17,6	16,6	17,3	17,03	16,9	17,1	17,5	17,1	17,15
7:40	15	15,9	15	15	15,7	15,7	15,35	15	15	15,7	15,7	15,35
13:00	21,4	23,3	23,1	21,3	19,9	19,5	20,95	22,7	20,6	20,1	25,7	22,28

21:00	16,6	16,1	16,5	16,5	16,1	16,3	16,35	16,5	16,5	16,2	17,2	16,60
8:30	14,8	14,8	14,8	15	14,8	14,4	14,75	14,6	14,8	14,4	14,6	14,60
14:00	21,9	21,5	21,4	22,3	21,1	21,1	21,48	20,8	21	21,1	20,8	20,93
20:30	16,9	16,1	16,4	16,2	16,1	16,1	16,20	16,4	16,2	16,1	16,1	16,20
7:30	16,2	13,7	13,5	13,8	13,8	13,7	13,70	13,9	14	13,7	13,5	13,78
14:30	27,5	23,5	26,4	23,2	22,3	23,7	23,90	31,1	22,8	22	24,2	25,03
23:00	15	15,1	14,6	14,9	14,7	14,9	14,78	14,4	14,7	14,5	14,7	14,58

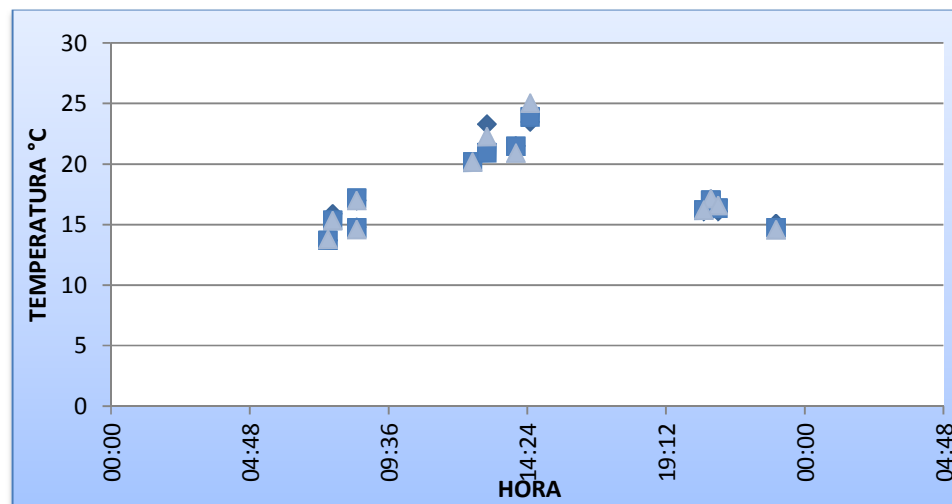
### Gráfica 20 : Comportamiento de la temperatura ambiente.

Se sabe que la temperatura ambiente varía según sea el momento del día (ver grafica), así es que nos da una idea que temperatura presenta la losa, en ese momento. Se observó que cuando esta asciende también asciende la temperatura de la losa provocando su dilatación y cuando esta desciende lo mismo ocurre con la temperatura de la losa es así que se contra.



**Gráfica 21 :Diferencia de comportamiento de temperaturas en la losa 2.**

Se sabe según la teoría y por la presente investigación que la temperatura en la losa de pavimento rígido varía según el lugar donde se atomada, pero la diferencia no es significativa pues se ve en la gráfica que la concentración de temperatura elevadas en la losa es por el mediodía y las más bajas se presentan al iniciar el día y en la noche, similar comportamiento que la temperatura ambiente.



## DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA CARA SUPERIOR E INFERIOR DE LA LOSA 2

Al igual que en la losa 1, en la losa dos se midió las temperaturas en la caras superior e inferior con las que se obtuvo un diferencial entre ambas, factor que aporta al alabeo. Como se mencionó en la losa 1 y comprobó con la medición de temperaturas durante el día la cara superior adquiere una temperatura mayor que en la cara inferior y lo contrario ocurre por la noche.

### Tabla 50: Diferencial de temperatura entre el superior e inferior de la losa 2.

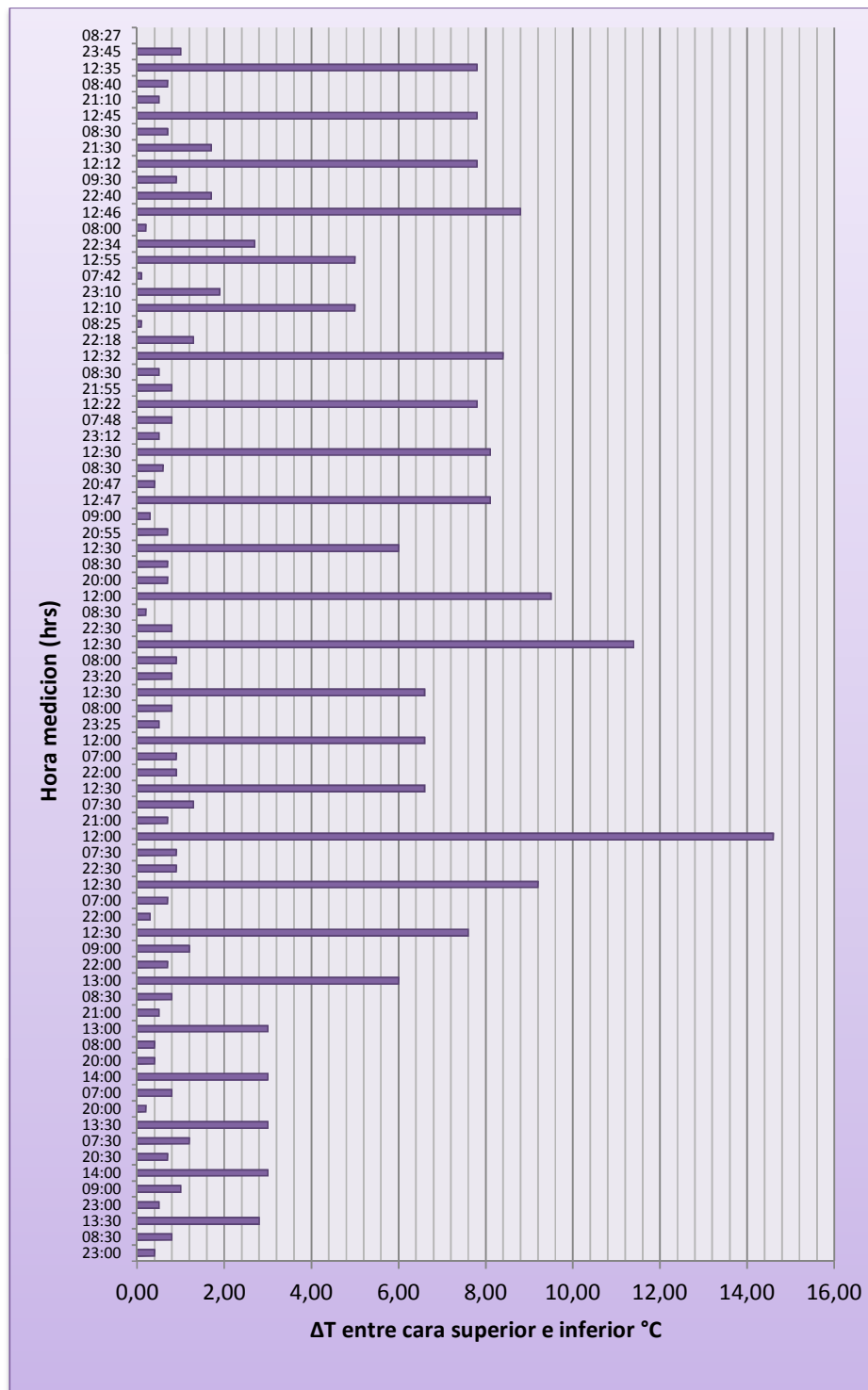
Se muestra en la tabla los diferenciales que se presentaron en el tiempo de medición, se puede ver que los valores más elevados se dan por el medio día y los menores por la noche.

HORA	CENTRO	BORDE	ESQUINA
23:00	0,40	0,40	0,40
8:30	0,80	0,65	0,65
13:30	2,80	10,50	10,50
23:00	0,50	0,53	0,53
9:00	1,00	1,55	1,55
14:00	3,00	1,00	1,00
20:30	0,70	0,63	0,63
7:30	1,20	0,98	0,98
13:30	3,00	0,92	0,92
20:00	0,20	0,38	0,38
7:00	0,80	0,65	0,65
14:00	3,00	1,00	1,00
20:00	0,40	0,38	0,37
8:00	0,40	0,65	0,65
13:00	3,00	1,00	1,00

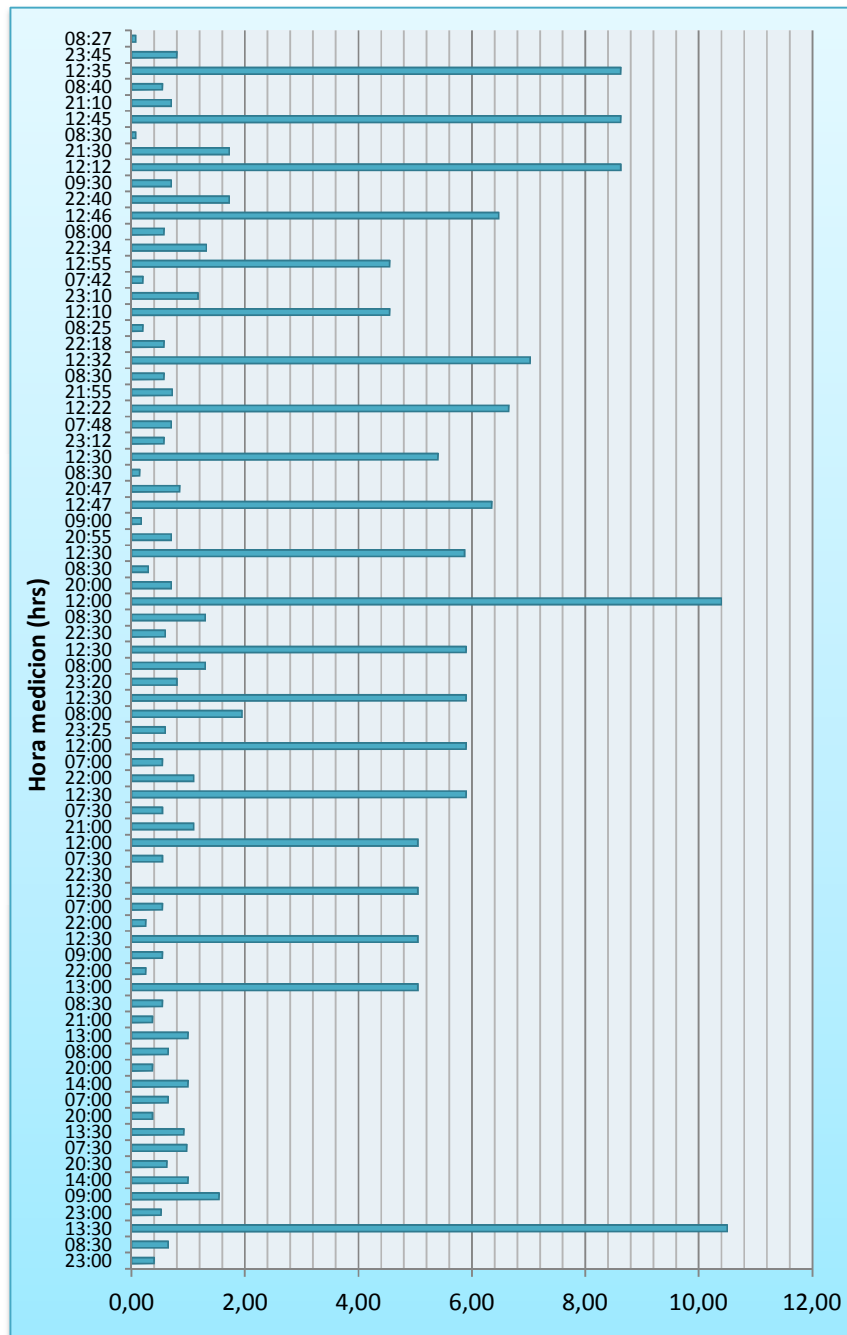
21:00	0,50	0,38	0,38
8:30	0,80	0,55	0,55
13:00	6,00	5,05	5,63
22:00	0,70	0,25	0,45
9:00	1,20	0,55	0,55
12:30	7,60	5,05	5,63
22:00	0,30	0,25	0,45
7:00	0,70	0,55	0,55
12:30	9,20	5,05	5,63
22:30	0,90	0,00	0,00
7:30	0,90	0,55	0,50
12:00	14,60	5,05	5,63
21:00	0,70	1,10	0,95
7:30	1,30	0,55	0,50
12:30	6,60	5,90	5,85
22:00	0,90	1,10	0,95
7:00	0,90	0,55	0,50
12:00	6,60	5,90	5,85
23:25	0,50	0,60	0,55
8:00	0,80	1,95	1,98
12:30	6,60	5,90	5,85
23:20	0,80	0,80	0,82
8:00	0,90	1,30	1,18
12:30	11,40	5,90	5,85
22:30	0,80	0,60	0,62
8:30	0,20	1,30	1,18
12:00	9,50	10,40	9,95
20:00	0,70	0,70	0,40
8:30	0,70	0,30	0,30
12:30	6,00	5,88	7,03
20:55	0,70	0,70	0,50
9:00	0,30	0,18	0,35
12:47	8,10	6,35	5,95
20:47	0,40	0,85	0,25
8:30	0,60	0,15	0,32

12:30	8,10	5,40	3,75
23:12	0,50	0,57	0,58
7:48	0,80	0,70	0,70
12:22	7,80	6,65	4,72
21:55	0,80	0,73	0,70
8:30	0,50	0,58	0,43
12:32	8,40	7,03	5,58
22:18	1,30	0,57	0,57
8:25	0,10	0,20	0,13
12:10	5,00	4,55	5,50
23:10	1,90	1,18	1,53
7:42	0,10	0,20	0,13
12:55	5,00	4,55	5,50
22:34	2,70	1,33	1,15
8:00	0,20	0,57	0,50
12:46	8,80	6,48	5,50
22:40	1,70	1,73	1,13
9:30	0,90	0,70	0,95
12:12	7,80	8,63	7,70
21:30	1,70	1,73	1,13
8:30	0,70	0,07	0,48
12:45	7,80	8,63	7,70
21:10	0,50	0,70	0,78
8:40	0,70	0,55	0,40
12:35	7,80	8,63	7,70
23:45	1,00	0,80	0,90
8:27	0,00	0,07	0,28

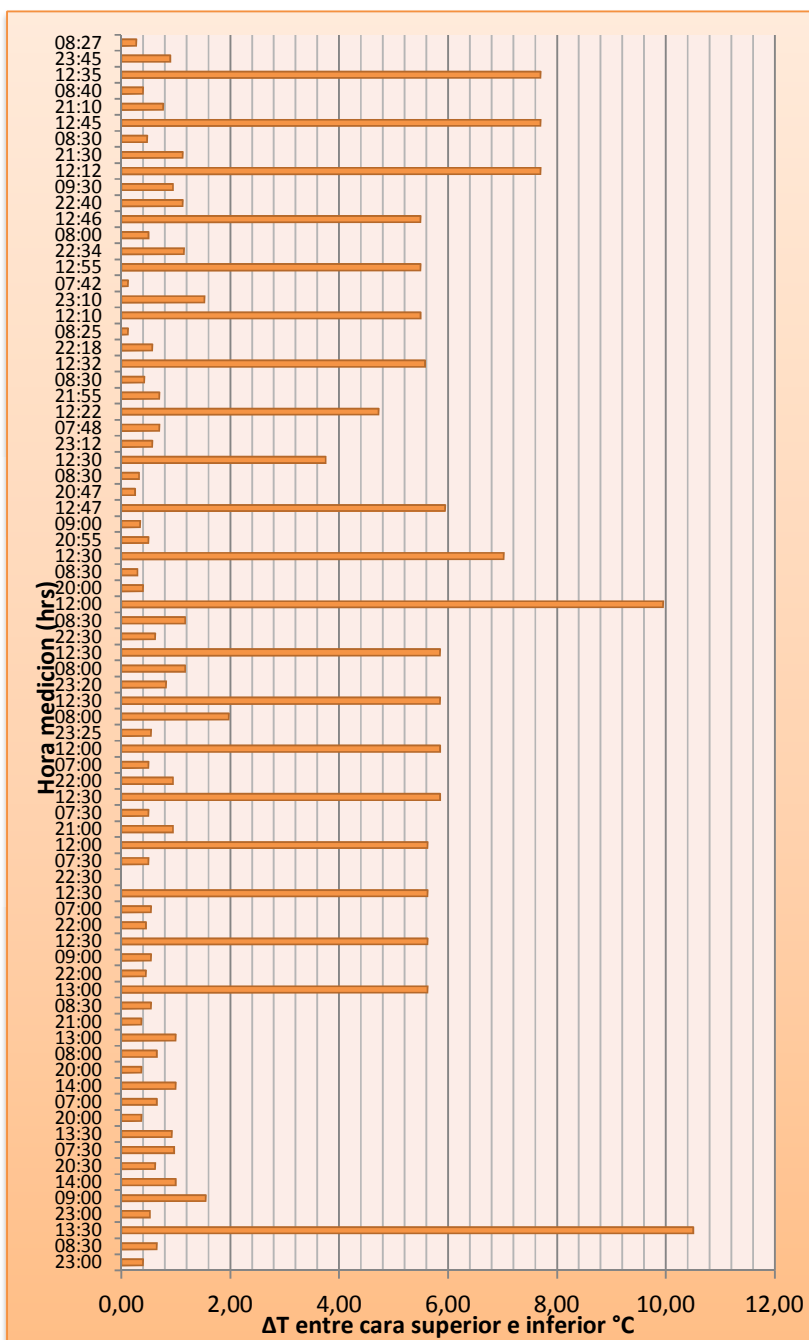
**Gráfica 22 : Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en el centro de la losa 2.** Al igual que en la losa 2, se observa en la gráfica que en horas de alrededor del mediodía ocurre el mayor diferencial de temperaturas entre caras, mientras que en horas nocturnas el diferencial desciende en gran magnitud a diferencia del amanecer que no difiere mucho del nocturno pero sí del medio día; por tanto estas diferencias provocan esfuerzos en losas de pavimento rígido.



**Gráfica 23 : Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en el borde de la losa 2.** Se observa en la gráfica que a diferencia de los gradientes en el centro de la losa, en el borde son variados por el ángulo de los rayos solares.



**Gráfica 24: Diferencia de temperatura entre la cara superior e inferior en la esquina de lalosa 2.** Se observa en la gráfica la diferencia entre la mañana y la noche pero el gradiente crece más aun alrededor del mediodía en la mayoría de los días en que setomaron las mediciones.



## MEDICION DE LA CONTRACCION Y DILATAACION DE LA LOSA 2

La dilatación y contracción por acción de la temperatura resulta un delta de longitud que agregado o restado según sea el fenómeno resulta un comportamiento de las losas de pavimento rígido aquí un modelo de este.

**Tabla 51: Medicion de la dilatación y contracción debido a la temperatura en la losa 2.** En la tabla se presentan las temperaturas promedio de la losa pues resultado de la acción de ella ocurre la dilatación u contracción por ello a cierta temperatura las losas en pavimento rígido se dilatan se contraen. La temperatura desciende en la noche, aun más al amanecer y asciende por el medio día la diferencia se contraen. La temperatura desciende en la noche, aun más al amanecer y asciende por el medio día la diferencia es el llamado gradiente de temperatura que no es más que la diferencia entre las mismas, si esta sube ve un gradiente positivo y si baja un negativo.

EDAD	HORA	TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$ (°C)	LADO 1 (mm)	LADO 2 (mm)	EFEECTO
1	8:30	17.06		998.50	998.00	RETRACCION
1	12:30	20.18	3.13	998.75	998.25	DILATAACION
1	20:45	17.09	-3.09	998.50	998.00	CONTRACCION
2	7:40	15.53	-1.56	998.25	997.75	CONTRACCION
2	13:00	22.18	6.64	998.55	998.05	DILATAACION
2	21:00	16.35	-5.83	998.25	997.75	CONTRACCION
3	8:30	14.72	-1.63	998.00	997.50	CONTRACCION
3	14:00	21.30	6.58	998.35	997.85	DILATAACION
3	20:30	16.17	-5.13	998.05	997.55	CONTRACCION
4	7:30	13.73	-2.44	997.75	997.25	CONTRACCION
4	14:30	24.14	10.42	998.15	997.65	DILATAACION
4	23:00	15.07	-9.08	997.75	997.25	CONTRACCION
5	8:30	13.56	-1.51	997.45	996.95	CONTRACCION
5	13:30	23.08	9.52	997.85	997.35	DILATAACION
5	23:00	14.42	-8.66	997.45	996.95	CONTRACCION
6	9:00	15.15	0.73	997.75	997.25	DILATAACION
6	14:00	28.10	12.95	998.25	997.75	DILATAACION
6	20:30	15.98	-12.13	997.80	997.30	CONTRACCION
7	7:30	13.88	-2.09	997.45	996.95	CONTRACCION
7	13:30	27.60	13.72	997.95	997.45	DILATAACION

7	20:00	16.81	-10.79	997.50	997.00	CONTRACCION
8	7:00	11.53	-5.28	997.10	996.60	CONTRACCION
8	14:00	25.70	14.18	997.60	997.10	DILATACION
8	20:00	17.81	-7.89	997.15	996.65	CONTRACCION
9	8:00	15.99	-1.82	996.80	996.30	CONTRACCION
9	13:00	28.10	12.11	997.30	996.80	DILATACION
9	21:00	16.56	-11.54	996.80	996.30	CONTRACCION
10	8:30	14.45	-2.11	996.45	995.95	CONTRACCION
10	13:00	30.48	16.03	997.00	996.50	DILATACION
10	22:00	14.67	-15.81	996.45	995.95	CONTRACCION
11	9:00	17.08	2.42	996.85	996.35	DILATACION
11	12:30	27.91	10.83	997.35	996.85	DILATACION
11	22:00	14.90	-13.01	996.85	996.35	CONTRACCION
12	7:00	13.93	-0.97	996.50	996.00	CONTRACCION
12	12:30	28.51	14.58	997.05	996.55	DILATACION
12	22:30	15.65	-12.86	996.50	996.00	CONTRACCION
13	7:30	15.63	-0.03	996.15	995.65	CONTRACCION
13	12:00	31.51	15.89	996.75	996.25	DILATACION
13	21:00	16.52	-15.00	996.15	995.65	CONTRACCION
14	7:30	16.06	-0.46	995.75	995.25	CONTRACCION
14	22:30	32.64	16.58	996.35	995.85	DILATACION
14	7:30	16.65	-15.99	995.75	995.25	CONTRACCION
15	12:00	16.23	-0.42	995.35	994.85	CONTRACCION
15	21:00	29.54	13.32	995.95	995.45	DILATACION
15	7:30	19.06	-10.48	995.40	994.90	CONTRACCION
16	12:30	21.32	2.26	995.85	995.35	DILATACION
16	22:00	31.34	10.02	996.40	995.90	DILATACION
16	7:00	19.55	-11.79	995.85	995.35	CONTRACCION
17	12:00	20.58	1.03	996.25	995.75	DILATACION
17	23:25	33.01	12.43	996.85	996.35	DILATACION
17	8:00	20.85	-12.16	996.25	995.75	CONTRACCION
18	12:30	20.53	-0.32	995.85	995.35	CONTRACCION
18	23:20	33.45	12.92	996.45	995.95	DILATACION
18	8:00	19.38	-14.07	995.80	995.30	CONTRACCION
19	12:30	20.38	1.00	996.25	995.75	DILATACION
19	22:30	32.29	11.91	996.85	996.35	DILATACION
19	8:30	18.97	-13.33	996.20	995.70	CONTRACCION
20	12:00	20.45	1.49	996.65	996.15	DILATACION
20	20:00	31.97	11.51	997.25	996.75	DILATACION
20	8:30	21.77	-10.20	996.65	996.15	CONTRACCION
21	12:30	18.83	-2.94	996.15	995.65	CONTRACCION
21	20:55	33.16	14.33	996.80	996.30	DILATACION
21	9:00	20.42	-12.74	996.15	995.65	CONTRACCION

22	12:47	18.21	-2.21	995.65	995.15	CONTRACCION
22	20:47	30.80	12.59	996.30	995.80	DILATACION
22	8:30	21.50	-9.29	995.65	995.15	CONTRACCION
23	12:30	14.50	-7.00	995.05	994.55	CONTRACCION
23	23:12	25.20	10.70	995.70	995.20	DILATACION
23	7:48	18.18	-7.02	995.10	994.60	CONTRACCION
24	12:22	13.54	-4.65	994.55	994.05	CONTRACCION
24	21:55	23.88	10.34	995.20	994.70	DILATACION
24	8:30	14.96	-8.92	994.60	994.10	CONTRACCION
25	12:32	13.14	-1.82	994.10	993.60	CONTRACCION
25	22:18	21.98	8.84	994.70	994.20	DILATACION
25	8:25	13.35	-8.63	994.10	993.60	CONTRACCION
26	12:10	14.29	0.94	994.60	994.10	DILATACION
26	23:10	29.25	14.96	995.35	994.85	DILATACION
26	7:42	13.50	-15.75	994.60	994.10	CONTRACCION
27	12:55	16.17	2.67	995.15	994.65	DILATACION
27	22:34	31.14	14.97	995.90	995.40	DILATACION
27	8:00	14.70	-16.44	995.15	994.65	CONTRACCION
28	23:10	15.66	0.96	995.70	995.20	DILATACION
28	7:42	32.34	16.68	996.50	996.00	DILATACION
28	12:55	16.94	-15.40	995.75	995.25	CONTRACCION
29	22:34	15.34	-1.60	995.20	994.70	CONTRACCION
29	8:00	29.84	14.50	995.95	995.45	DILATACION
29	12:46	18.05	-11.79	995.25	994.75	CONTRACCION
30	22:40	16.38	-1.68	994.70	994.20	CONTRACCION

**Gráfica 25 :Evolución de la longitud de la losa 2 de acuerdo con el gradiente térmico.**

Se observa que cuando el gradiente es positivo la losa se dilata y cuando es negativo se contrae.

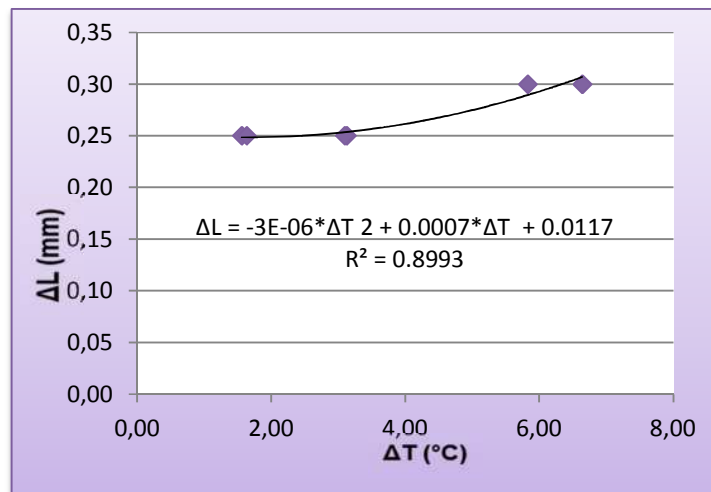
La dilatación ocurre alrededor del mediodía, y la compresión por la noche aunmas por lamadrugada por eso pasadas las 9 am la losa empieza a dilatarse nuevamente pues vaadquiriendo mayor calor de los rayos de sol. Se puede ver en la parte más baja de inicio de la gráfica que la losa comienza con unalongitug y hacia arriba va disminuyendo, a pesar de su dilatación la compresión es mayor



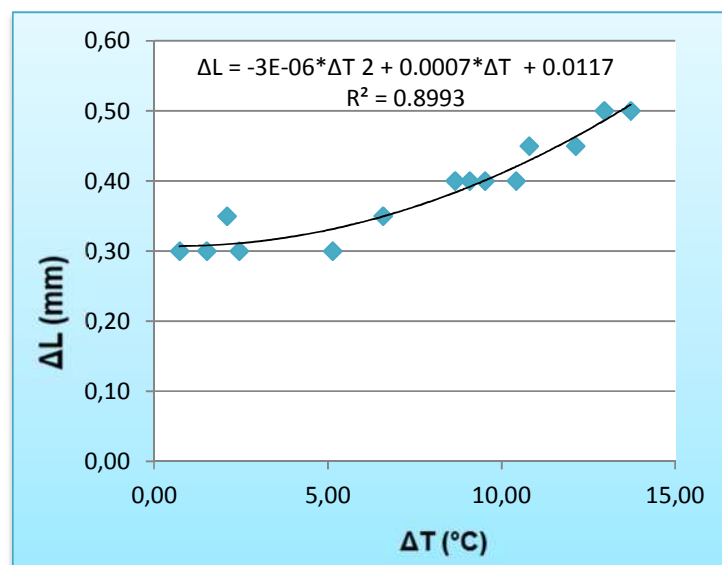
**Tabla 52: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura de la losa 2.** Se obtuvieron calculando la diferencia de temperatura entre la mañana, medio día y noche, y lo propio para los deltas de longitud, de la losa 2 entre 1 - 7 días de edad.

$\Delta T$	$\Delta L$
$^{\circ}C$	mm
3.13	0.25
3.09	0.25
1.56	0.25
6.64	0.30
5.83	0.30
1.63	0.25
6.58	0.35
5.13	0.30
2.44	0.30
10.42	0.40
9.08	0.40
1.51	0.30
9.52	0.40
8.66	0.40
0.73	0.30
12.95	0.50
12.13	0.45
2.09	0.35
13.72	0.50
10.79	0.45

**Gráfica 26 : Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al  $\Delta$  de temperaturas; día de 1 a 2 en edad de la losa 2.** Se observa en la gráfica que existe una buena correlación entre el gradiente de temperaturas y la longitud de manera que la ecuación resultado de la gráfica es aplicable. Se dividió por edad de la losa para la obtención de las gráficas porque en comportamiento varía según la edad.



**Gráfica 27 : Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al Δ de temperaturas; día de 3 a 7 en edad de la losa 2.** Podemos ver en la gráfica que el ΔL entre los días 3-7 con respecto al delta de temperaturas sigue una tendencia polinómica ascendente

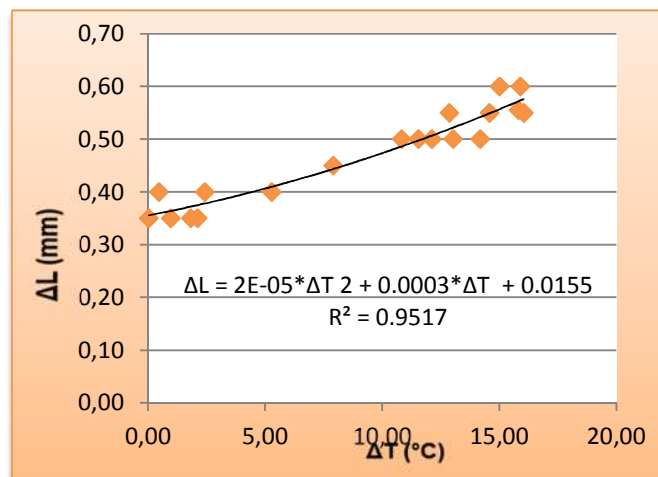


**Tabla 53 :Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 8 - 14 días para losa 2.**

ΔT (°C)	ΔL mm
5.28	0.40

14.18	0.50
7.89	0.45
1.82	0.35
12.11	0.50
11.54	0.50
2.11	0.35
16.03	0.55
15.81	0.56
2.42	0.40
10.83	0.50
13.01	0.50
0.97	0.35
14.58	0.55
12.86	0.55
0.03	0.35
15.89	0.60
15.00	0.60
0.46	0.40

**Gráfica 28:** Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 8 a 14 en edad para losa 2. Se observa que en estos días el comportamiento sigue teniendo una ascendencia polinómica entre los deltas de temperatura y longitud. Entonces se puede decir que existe una buena correlación entre los dos.

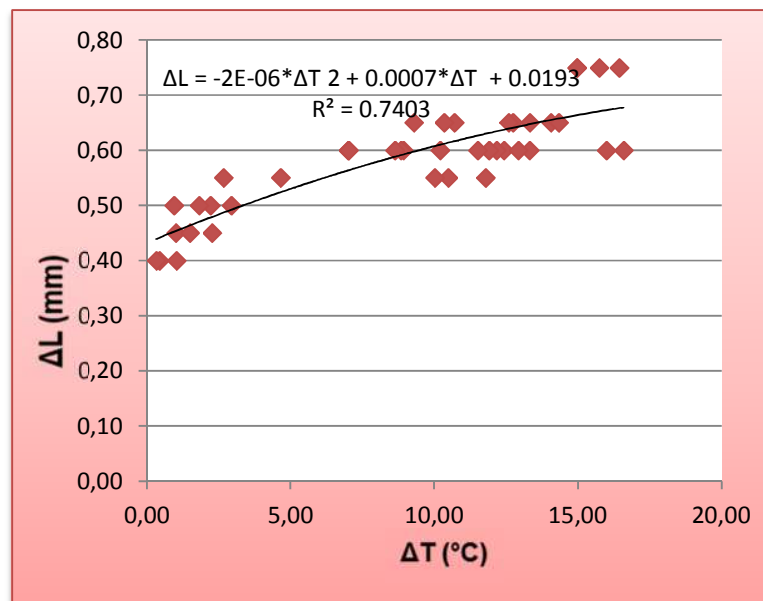


**Tabla 54: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 15 - 27 días para losa2.** Se presenta en la tabla la variación de longitud y temperaturas para los días 15 – 27. Los valores de longitud siguen una variación de acuerdo con los diferenciales de temperaturas.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ mm
16.58	0.60
15.99	0.60
0.42	0.40
13.32	0.60
10.48	0.55
2.26	0.45
10.02	0.55
11.79	0.55
1.03	0.40
12.43	0.60
12.16	0.60
0.32	0.40
12.92	0.60
14.07	0.65
1.00	0.45
11.91	0.60
13.33	0.65
1.49	0.45
11.51	0.60
10.20	0.60
2.94	0.50
14.33	0.65
12.74	0.65
2.21	0.50
12.59	0.65
9.29	0.65
7.00	0.60
10.70	0.65
7.02	0.60
4.65	0.55
10.34	0.65
8.92	0.60
1.82	0.50
8.84	0.60

8.63	0.60
0.94	0.50
14.96	0.75
15.75	0.75
2.67	0.55
14.97	0.75
16.44	0.75

**Gráfica 29:** Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas; día de 15 a 27 para losa 2. Entre el día 15 - 27 de edad de la losa de pavimento rígido, se observa que tiende a ascender polinómicamente el diferencial de longitud respecto al delta de temperaturas. Esta ascendencia es curvada hacia el inferior a diferencia de las anteriores.

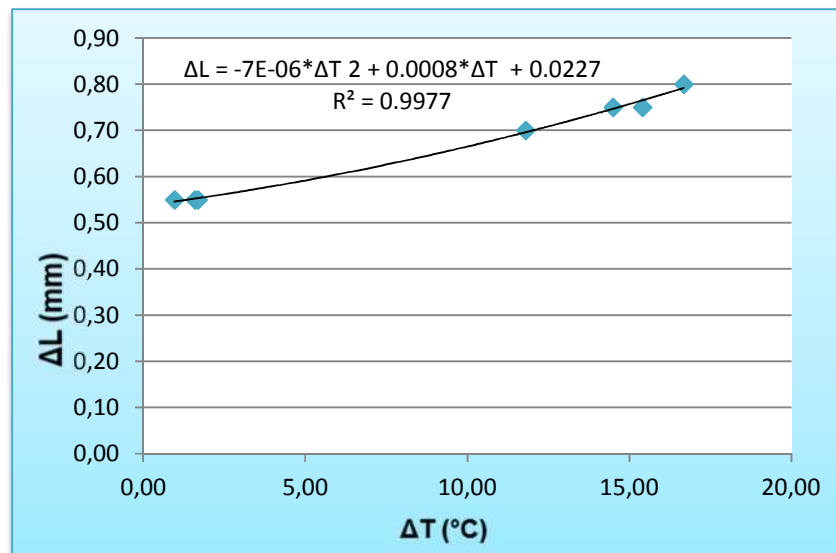


**Tabla 55:** Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura para losa 2. Edad 28 - 30 días.

Se presenta la tabla de diferenciales de longitud y temperatura una vez que la losa alcanzado el 100% de su resistencia.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ mm
0.96	0.55
16.68	0.80
15.40	0.75
1.60	0.55
14.50	0.75
11.79	0.70
1.68	0.55

**Gráfica 30: :Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas de losa 2; edad 28 a 30 días.** Entre estos días se ve en la gráfica un similar tendencia ascendente que en la anterior gráfica, una mayor precisión por la cantidad de datos a presentarse en ella.

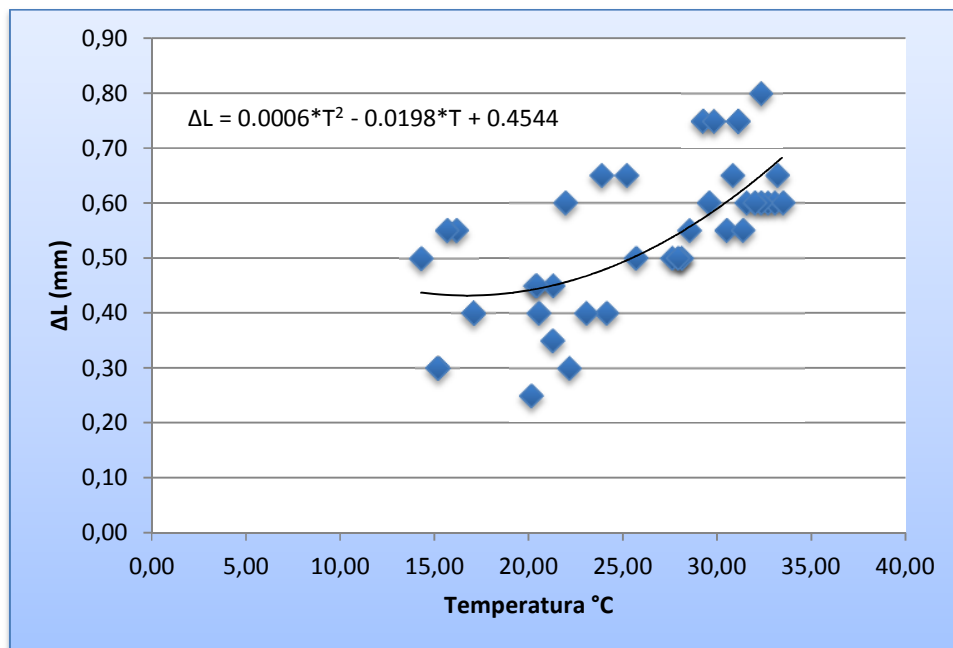


## DILATACION DE LA LOSA 2

**Tabla 56: Deltas de longitud según temperatura para losa 2.**

<b>Tempe. °C</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>
20.18	0.25
22.18	0.30
21.30	0.35
24.14	0.40
23.08	0.40
15.15	0.30
28.10	0.50
27.60	0.50
25.70	0.50
28.10	0.50
30.48	0.55
17.08	0.40
27.91	0.50
28.51	0.55
31.51	0.60
32.64	0.60
29.54	0.60
21.32	0.45
31.34	0.55
20.58	0.40
33.01	0.60
33.45	0.60
20.38	0.45
32.29	0.60
20.45	0.45
31.97	0.60
33.16	0.65
30.80	0.65
25.20	0.65
23.88	0.65
21.98	0.60
14.29	0.50
29.25	0.75
16.17	0.55
31.14	0.75
15.66	0.55
32.34	0.80
29.84	0.75

**Gráfica 31: Comportamiento de la dilatación ante la temperatura para losa 2.** Se observa una correlación aceptable potencial de la dilatación de la losa 2, por lo cual se deduce que a mayor temperatura mayor dilatación. Debido a la evolución de la losa según los días de edad por encontrarse a la vez en proceso de adquirir el 100% de su resistencia.



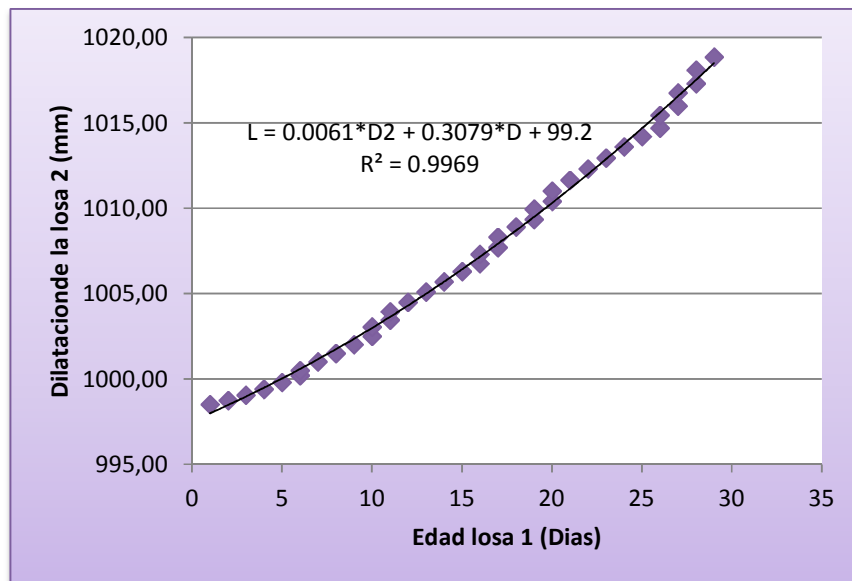
### DILATACION SEGÚN LA EDAD

**Tabla 57: Longitud según edad de la losa 2.**

EDAD	L (mm)
1	998.50
2	998.75
3	999.05
4	999.40
5	999.80
6	1000.20

6	1000.50
7	1001.00
8	1001.50
9	1002.00
10	1002.50
10	1003.05
11	1003.45
11	1003.95
12	1004.50
13	1005.10
14	1005.70
15	1006.30
16	1006.75
16	1007.30
17	1007.70
17	1008.30
18	1008.90
19	1009.35
19	1009.95
20	1010.40
20	1011.00
21	1011.65
22	1012.30
23	1012.95
24	1013.60
25	1014.20
26	1014.70
26	1015.45
27	1016.00
27	1016.75
28	1017.30
28	1018.10
29	1018.85

**Gráfica 32:Comportamiento de la dilatación de la losa 1 de acuerdo a la edad.**La dilatación de la losa se comporta polinomicamente de acuerdo a la edad esto, significa que si solo se dilatara la losa esta crecería en su longitud de la forma en que se ve en la gráfica.



## CONTRACCION DE LA LOSA 2

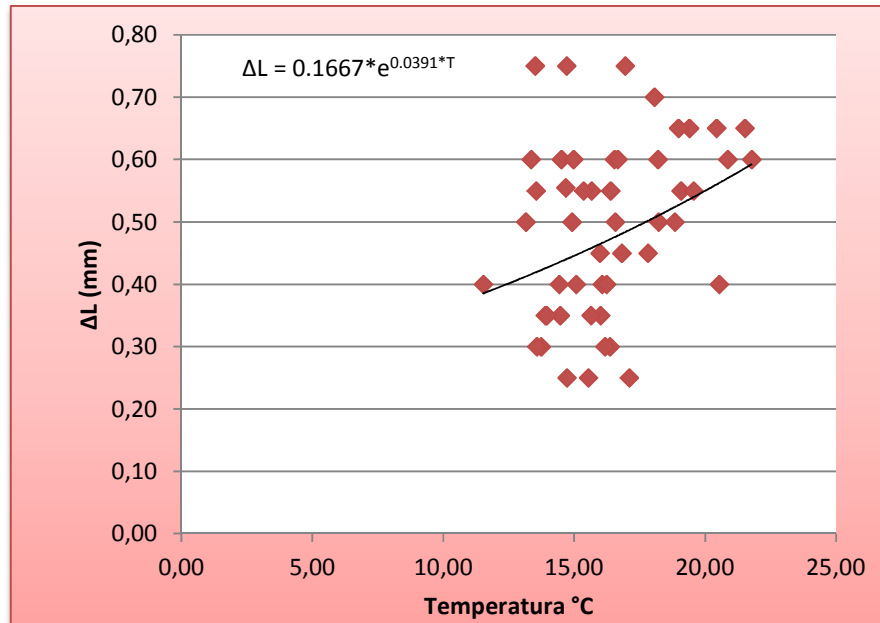
Tabla 58: Deltas de longitud según temperatura para contracción losa 1.

Tempe. °C	$\Delta L$ (mm)
17.09	0.25
15.53	0.25
16.35	0.30
14.72	0.25
16.17	0.30
13.73	0.30
15.07	0.40
13.56	0.30
14.42	0.40
15.98	0.45
13.88	0.35
16.81	0.45
11.53	0.40
17.81	0.45
15.99	0.35
16.56	0.50
14.45	0.35

14.67	0.55
14.90	0.50
13.93	0.35
15.65	0.55
15.63	0.35
16.52	0.60
16.06	0.40
16.65	0.60
16.23	0.40
19.06	0.55
19.55	0.55
20.85	0.60
20.53	0.40
19.38	0.65
18.97	0.65
21.77	0.60
18.83	0.50
20.42	0.65
18.21	0.50
21.50	0.65
14.50	0.60
18.18	0.60
13.54	0.55
14.96	0.60
13.14	0.50
13.35	0.60
13.50	0.75
14.70	0.75
16.94	0.75
15.34	0.55
18.05	0.70
16.38	0.55

**Gráfica 33: Comportamiento de la contracción de la losa 2 ante la temperatura.**

Se observa que aunque los datos tienden a ascender según la temperatura también se ve que hay mucha variación en algunos por la influencia en la misma de la contracción por secado. En las anteriores graficas que agrupan los datos por días se ve una mejor correlación porque hay una mejor precisión en el orden de los mismos.



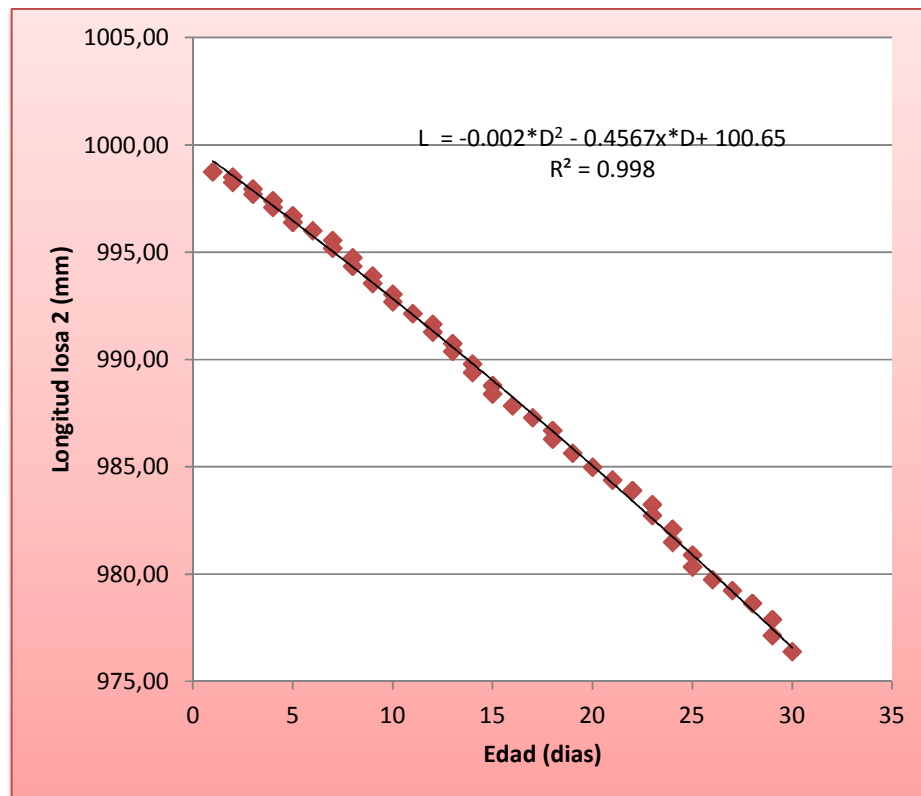
## CONT RACCION SEGÚN LA EDAD

Tabla 59: Longitud según edad de la losa 2.

EDAD	L (mm)
1	998.75
2	998.50
2	998.25
3	997.95
3	997.70
4	997.40
4	997.10
5	996.70
5	996.40
6	996.00
7	995.55
7	995.20
8	994.75
8	994.35
9	993.90

9	993.55
10	993.05
10	992.70
11	992.15
12	991.65
12	991.30
13	990.75
13	990.40
14	989.80
14	989.40
15	988.80
15	988.40
16	987.85
17	987.30
18	986.70
18	986.30
19	985.65
20	985.00
21	984.40
22	983.90
23	983.25
23	982.75
24	982.10
24	981.50
25	980.90
25	980.35
26	979.75
27	979.25
28	978.65
29	977.90
29	977.15
30	976.40

**Gráfica 34: Comportamiento de la contracción de la losa 2 de acuerdo a la edad.** Se observa en la gráfica que si la losa solo sufriera contracción esta disminuiría su lado de acuerdo con la gráfica según la edad que presente.



## ALABEO DE LA LOSA 2

**Tabla 60: Alabeo de la losa 2.**

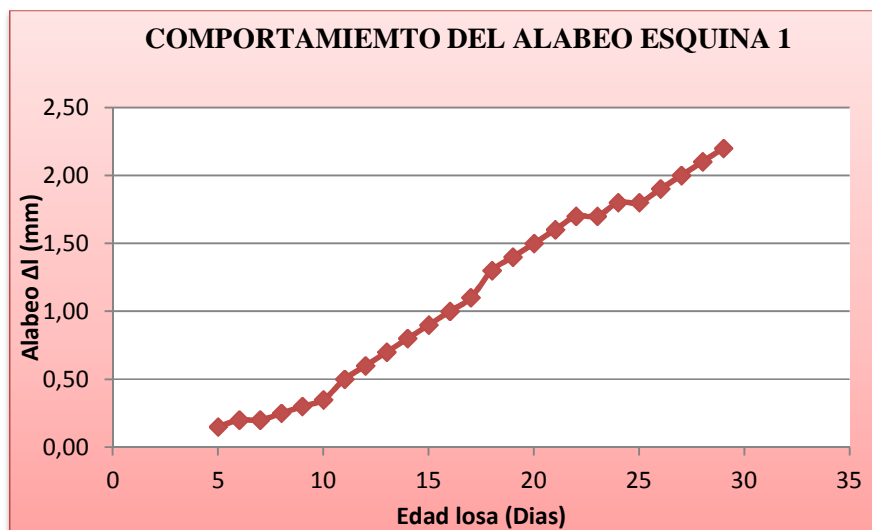
Como consecuencia de la dilatación y contracción en losas de pavimento rígido se presenta el alabeo que como en la losa 1 también fue notorio en la losa dos y se midió a objeto de analizar su comportamiento, dichas medidas se presentan en esta tabla.

El gradiente de temperatura al que está sometido la losa en el momento de su medición es negativo pues la parte superior de la losa 2 presenta menor temperatura que la inferior.

EDAD	ALABEO EN LA ESQUINA 1	ALABEO EN LA ESQUINA 2	ALABEO EN LA ESQUINA 3	ALABEO EN LA ESQUINA 4
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Días	mm	mm	mm	mm
5	0,15	0,15	0,10	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,20	0,20
8	0,25	0,20	0,20	0,25
9	0,30	0,20	0,30	0,25
10	0,35	0,35	0,30	0,30
11	0,50	0,40	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,70	0,70	0,70	0,70
14	0,80	0,80	0,80	0,80
15	0,90	0,90	0,90	0,90
16	1,00	1,05	1,00	1,05
17	1,10	1,10	1,10	1,10
18	1,30	1,30	1,30	1,35
19	1,40	1,45	1,40	1,40
20	1,50	1,50	1,55	1,50
21	1,60	1,50	1,60	1,60
22	1,70	1,60	1,70	1,70
23	1,70	1,70	1,80	1,70
24	1,80	1,80	1,85	1,80
25	1,80	1,80	1,90	1,90
26	1,90	1,90	2,00	1,90
27	2,00	1,95	2,10	2,00
28	2,10	2,00	2,20	2,10
29	2,20	2,10	2,40	2,25

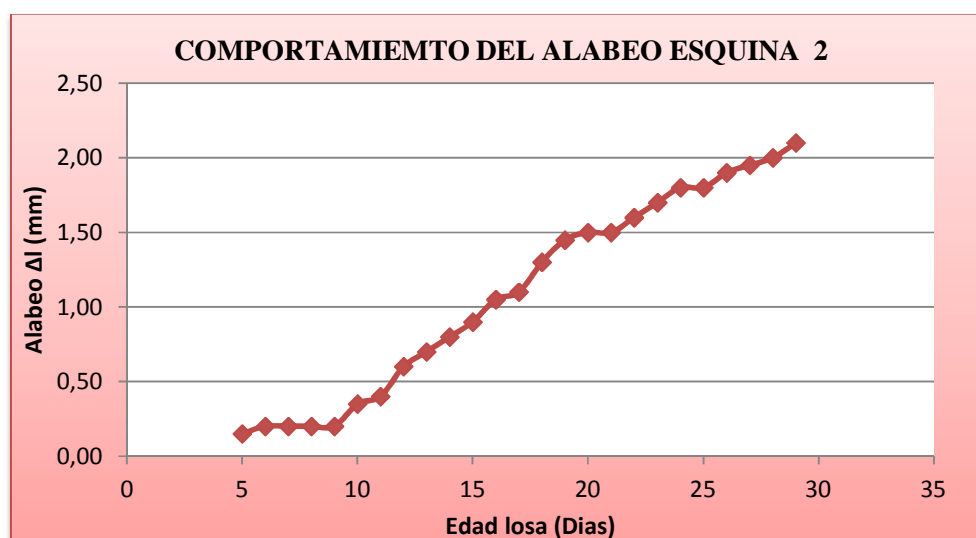
### Gráfica 35 : Alabeo de la losa 2 en la esquina 1

Se puede observar que el alabeo crece con la edad de la losa, presenta crecimiento variado pues durante el día cuando se produce la dilatación esta contrarresta la deformación que adquirido en la noche.



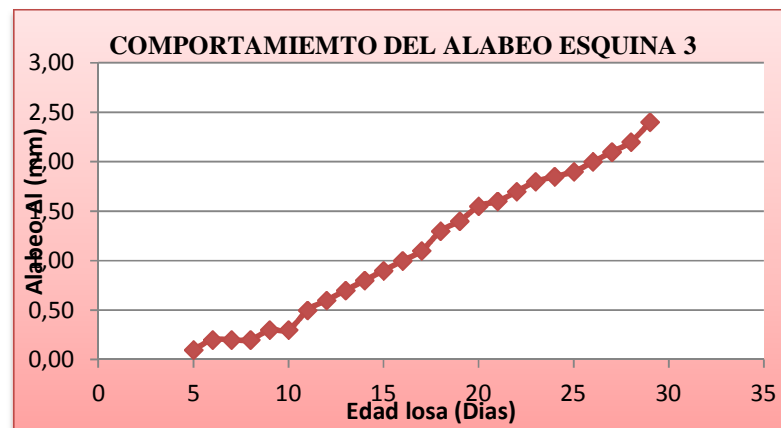
**Gráfica 36: Alabeo de la losa 2 en la esquina 2.**

Al igual que en la losa 1 el alabeo en esta esquina resulta milimétricamente menor que el resto de la esquina; otro aspecto notorio en la gráfica es que entre edad de 5 a 10 días de edad de la losa el alabeo es relativamente bajo en comparación de los 10 días en adelante.



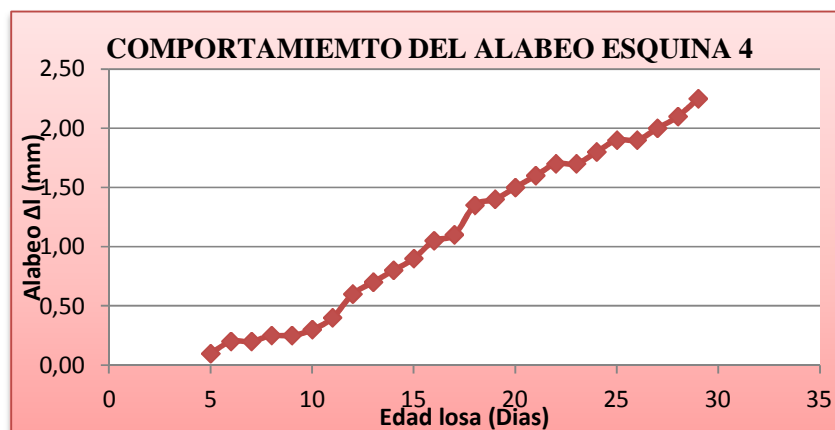
**Gráfica 37: Alabeo de la losa 2 en la esquina 3.**

El alabeo en esta esquina es el mayor a las demás como se puede observar en la gráfica, através de la presente investigación se observa que el alabeo es independiente del material pero dependiente del gradiente de temperaturas entre la cara superior e inferior de la losa.



**Gráfica 38: Alabeo de la losa 2 en la esquina 4.**

Como se explicaba anteriormente lo que se observó en la práctica, el mismo material de la losa que es el hormigón ha reaccionado milimétricamente diferente una esquina de otra, sin embargo el comportamiento es similar por en contrarse la cuatro esquinas de la losa al mismo gradiente térmico.



### COMPORTAMIENTO DE LA LOSA 3 DURANTE LOS 4 PRIMEROS DIAS

Como verificación se vació una tercera losa para la cual se siguió el mismo estudio, resultado de este son las tablas y graficas que se presentan. Es visible el comportamiento que una losa de pavimento rígido presenta desde el primer día de edad, más los esfuerzos provocados por la variación de la temperatura en la losa son dependientes de la misma, por eso es importante conocer su comportamiento. Durante los 4 días al igual que se hizo con las dos losas anteriores, se tomaron datos de temperaturas solo superiores pues aún no se las elevó para estudiar su comportamiento en la parte inferior.

**Tabla 61: Temperaturas de la losa 3 en el centro, borde y esquina, hasta 4 días de edad.**

De acuerdo con la teoría se espera que la temperatura en el centro de la losa sea mayor, la del borde menor que la del centro y la esquina menor a las dos anteriores sin embargo en la práctica no ocurre tal situación en un porcentaje elevado pues se observa en la tabla la variación de la misma en cada lugar de la losa.

HORA	TEMPERATURA	CENTRO	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE	BORDE PROMEDIO	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA	ESQUINA PROMEDIO
hrs	°C	°C	1	2	3	4	°C	1	2	3	4	°C
8:30	15,6	17	17,2	16,8	17,2	16,6	16,95	17	17	16,5	16,3	16,70
12:30	20,8	20,2	20,2	20,5	20,3	20,3	20,33	20,3	19,9	19,8	20,1	20,03
20:45	17,1	17,6	16,9	17,6	17,8	17,3	17,40	17,1	17,1	16,9	17,6	17,18

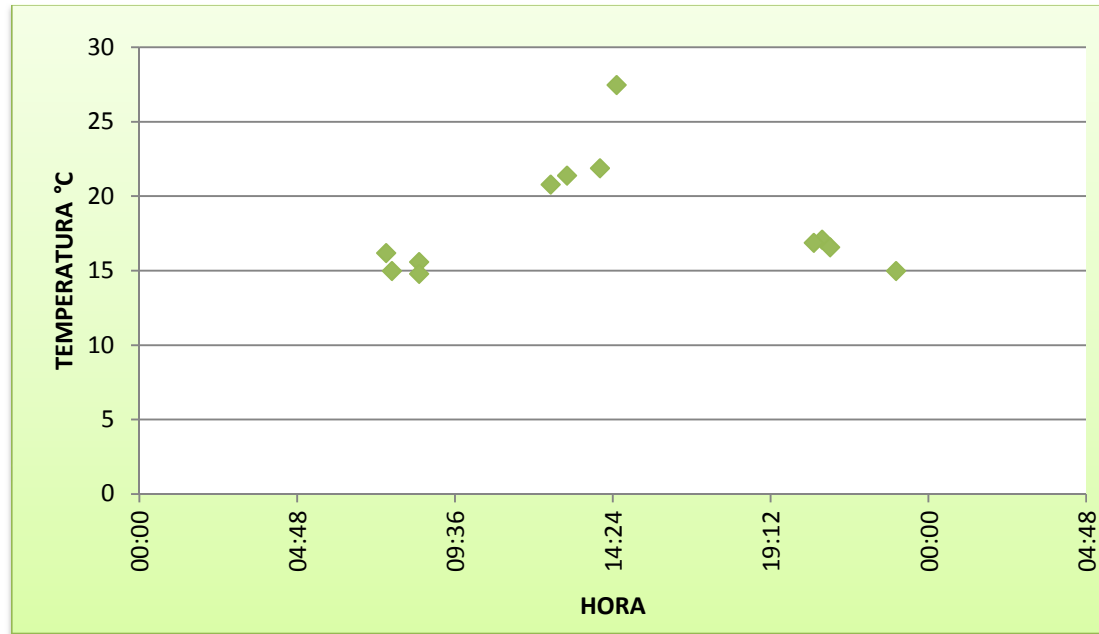
7:40	15	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,70	15,7	15,7	15,4	15,7	15,63
13:00	21,4	20,3	20	19,9	21,1	20,1	20,28	20,3	19,8	20,3	20,1	20,13
21:00	16,6	16,5	16,3	16,1	16,1	16,2	16,18	16,5	16,3	16,2	16,5	16,38
8:30	14,8	14,6	14,6	14,6	14,6	14,4	14,55	14,8	14,6	14,4	14,6	14,60
14:00	21,9	21,1	21,1	21,2	22,2	21,6	21,53	21,1	21,5	22,1	21,6	21,58
20:30	16,9	16,2	15,9	16,2	16,2	16,1	16,10	16,4	16	16,2	16,1	16,18
7:30	16,2	13,8	13,7	13,8	13,8	13,5	13,70	13,8	13,8	13,7	13,3	13,65
14:30	27,5	21,4	22,3	21,8	21,2	0	16,33	21,7	22,3	21,6	21,5	21,78
23:00	15	14,9	14,4	14,7	14,5	14,7	14,58	14,2	14,5	14,3	14,5	14,38

### Comportamiento de la temperatura ambiente

La importancia de la temperatura ambiente para el pavimento rígido cabe cuando se trata de estudiar su comportamiento ante los esfuerzos provocados por la temperatura que la losa presenta, misma que tiene relación íntima con la ambiente pues ella determina que temperatura presentará el pavimento rígido y por tanto a que esfuerzos se verá sometido el pavimento rígido.

### Gráfica 39: Comportamiento de la temperatura a la que esta sometida la losa 3.

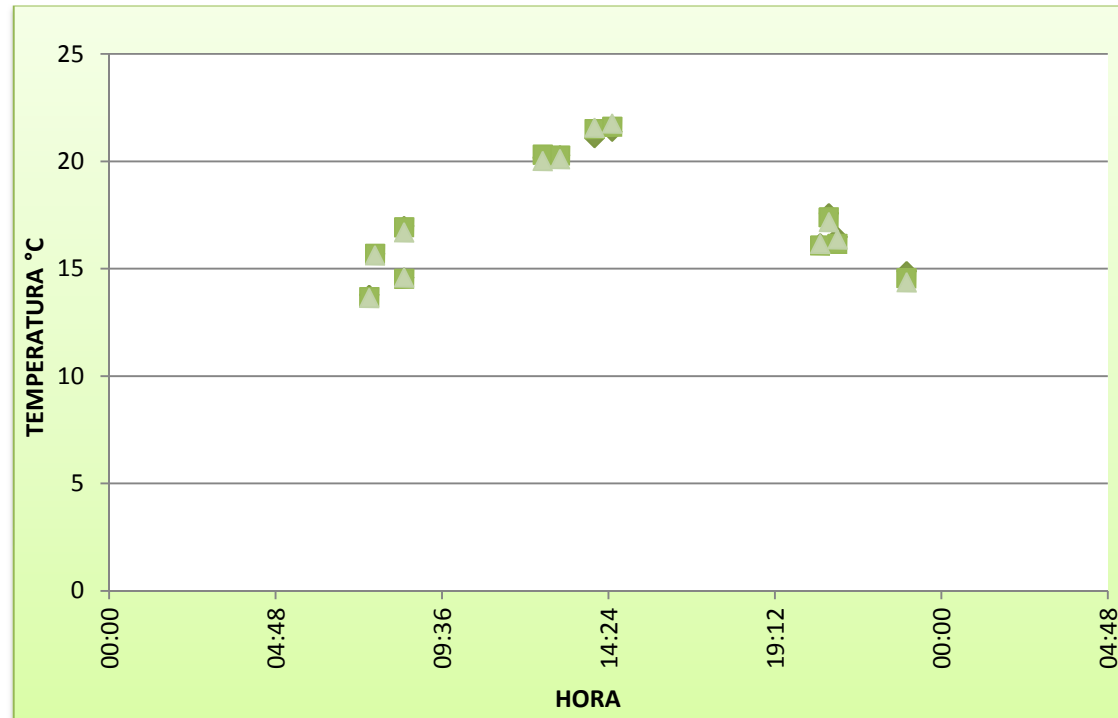
Ya se ha explicado el comportamiento que la temperatura ambiente presento durante la medición la contracción, dilatación en estos días, pues las tres losas estuvieron sometidas a misma temperatura ambiente. Para agregar, se puede observar en la gráfica que el mayor gradiente térmico se presenta el día cuatro entre el medio día y la noche es negativo pues la temperatura desciende aproximadamente 14 °C.



**Gráfica 40: Diferencia de comportamiento de temperaturas en la losa 3.**

Según Huag, los tres puntos críticos de una losa de pavimento rígido son en centro borde y esquina, se puede deducir por la siguiente investigación porque son los que mayores esfuerzos por temperatura en este caso deben soportar.

En la gráfica se hace un comparación de la temperatura entre los tres puntos, se observa que al igual que en las anteriores losas existe una variación mínima en tres horarios en los que se midió, más notorio es la concentración de temperatura en los distintos horario, inicio mañana, mediodía y noche, sometiendo a la losa entre un cambio y otro, a un gradiente térmico.



### DIFERENCIA ENTRE CARA SUPERIOR E INFERIOR DE LA LOSA 3

El gradiente térmico entre las caras superior e inferior de la losa incide directamente en el alabeo. Cuando la temperatura es menor en la cara superior que la inferior se produce un gradiente negativo y cuando ocurre lo contrario el resultado es un gradiente térmico positivo, se confirma según la presente investigación lo que la teoría indica el gradiente negativo es el más nocivo.

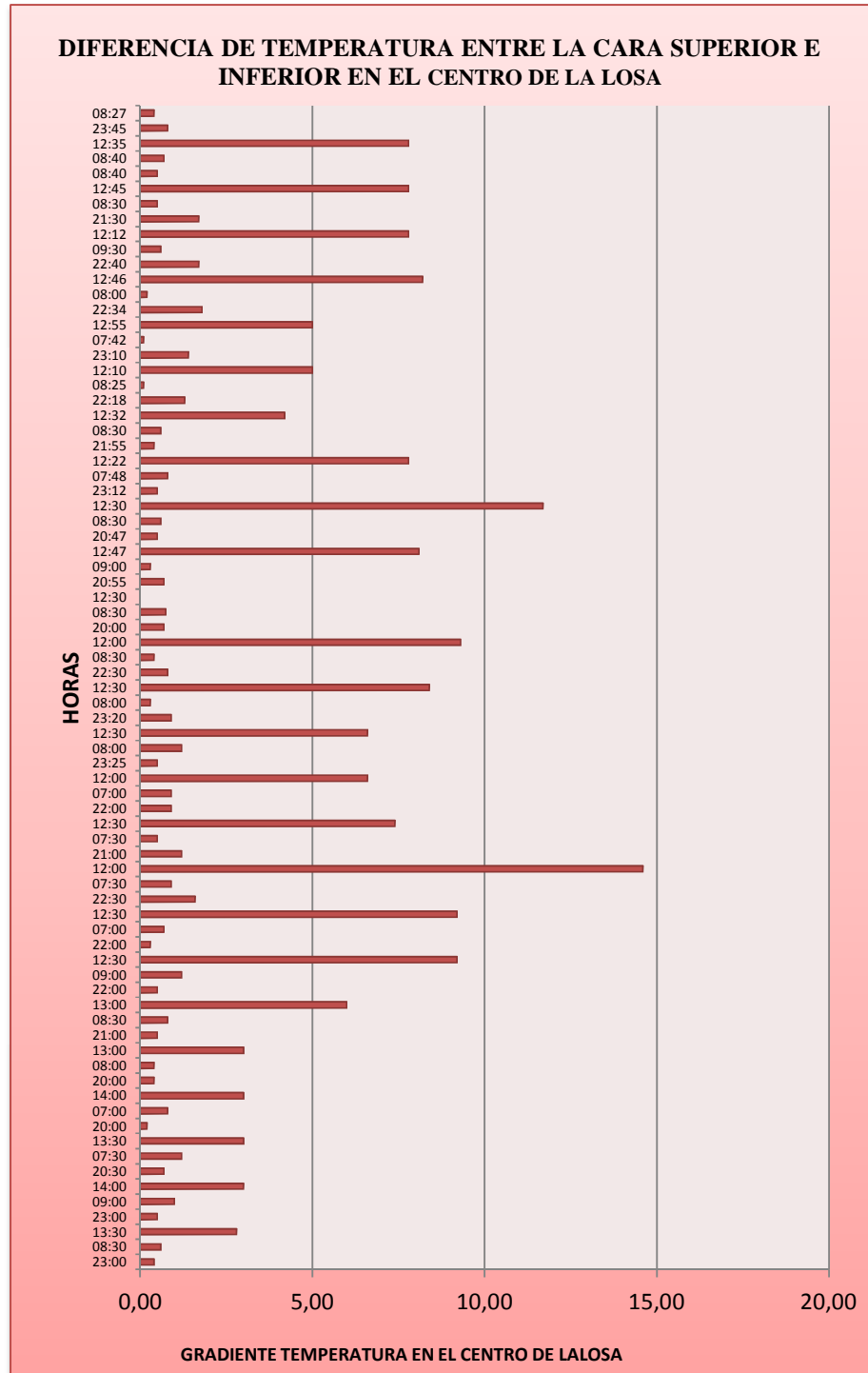
**Tabla 62: Gradiente térmico entre las caras de la losa 3.** El valor del gradiente es el que determina los esfuerzos, razón por la cual se presentan en las siguientes los valores del gradiente térmico que se presentó en el tiempo de medición.

HORA	CENTRO	BORDE	ESQUINA
23:00	0,40	0,40	0,40
8:30	0,60	0,75	0,53
13:30	2,80	10,50	10,50
23:00	0,50	0,53	0,52
9:00	1,00	1,55	1,55
14:00	3,00	1,00	1,00
20:30	0,70	0,62	0,62
7:30	1,20	0,98	0,98
13:30	3,00	0,93	0,93
20:00	0,20	0,38	0,38
7:00	0,80	0,65	0,65
14:00	3,00	1,00	1,00
20:00	0,40	0,38	0,38
8:00	0,40	0,65	0,65
13:00	3,00	1,00	1,00
21:00	0,50	0,38	0,38
8:30	0,80	0,55	0,45

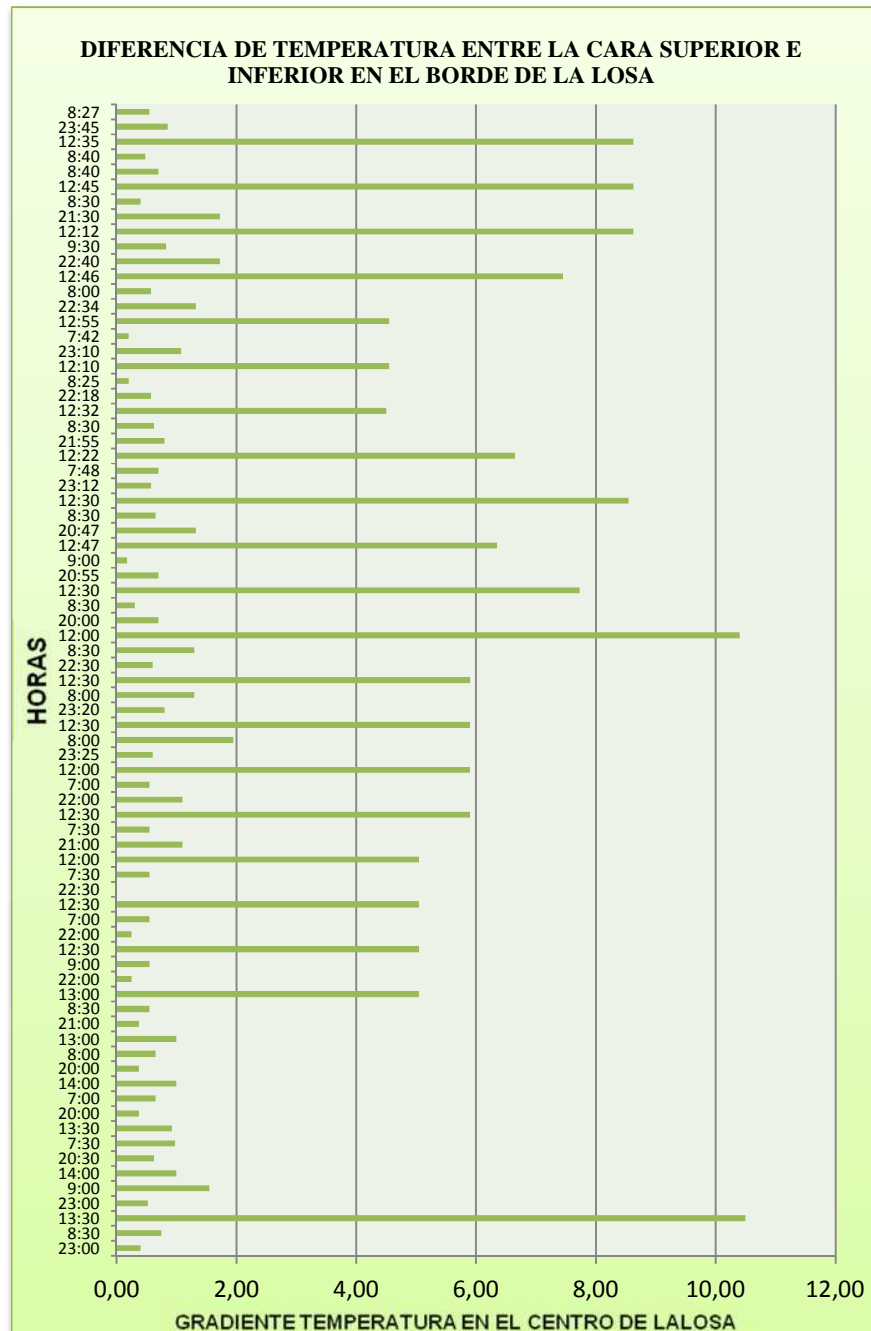
13:00	6,00	5,05	7,45
22:00	0,50	0,25	1,05
9:00	1,20	0,55	0,45
12:30	9,20	5,05	7,45
22:00	0,30	0,25	1,05
7:00	0,70	0,55	0,45
12:30	9,20	5,05	7,45
22:30	1,60	0,00	0,00
7:30	0,90	0,55	0,35
12:00	14,60	5,05	7,45
21:00	1,20	1,10	0,50
7:30	0,50	0,55	0,35
12:30	7,40	5,90	5,75
22:00	0,90	1,10	0,50
7:00	0,90	0,55	0,35
12:00	6,60	5,90	5,75
23:25	0,50	0,60	0,50
8:00	1,20	1,95	2,05
12:30	6,60	5,90	5,75
23:20	0,90	0,80	1,00
8:00	0,30	1,30	0,80
12:30	8,40	5,90	5,75
22:30	0,80	0,60	0,75
8:30	0,40	1,30	0,80
12:00	9,30	10,40	8,60
20:00	0,70	0,70	0,50
8:30	0,75	0,30	0,30
12:30	8,50	7,72	5,80
20:55	0,70	0,70	0,50
9:00	0,30	0,17	0,35
12:47	8,10	6,35	5,95
20:47	0,50	1,33	1,15
8:30	0,60	0,65	0,68
12:30	11,70	8,55	4,83

23:12	0,50	0,57	0,57
7:48	0,80	0,70	0,70
12:22	7,80	6,65	4,73
21:55	0,40	0,80	0,57
8:30	0,60	0,62	0,45
12:32	4,20	4,50	3,13
22:18	1,30	0,57	0,58
8:25	0,10	0,20	0,13
12:10	5,00	4,55	5,50
23:10	1,40	1,08	1,05
7:42	0,10	0,20	0,13
12:55	5,00	4,55	5,50
22:34	1,80	1,33	0,92
8:00	0,20	0,58	0,50
12:46	8,20	7,45	6,80
22:40	1,70	1,73	1,13
9:30	0,60	0,82	0,75
12:12	7,80	8,63	7,70
21:30	1,70	1,73	1,13
8:30	0,50	0,40	0,32
12:45	7,80	8,62	7,70
8:40	0,50	0,70	0,77
8:40	0,70	0,48	0,43
12:35	7,80	8,63	7,70
23:45	0,80	0,85	0,75
8:27	0,40	0,55	0,45

**Gráfica 41: Gradiente térmico entre la cara superior e inferior de la losa 3 en el centro.** La variación del gradiente de acuerdo con el horario de medición como se indica en la gráfica, indica que en la noche y por inicio de la mañana es pequeño en comparación con el horario de mayor calor. Sin embargo es más nocivo el gradiente que se presenta por la noche.



**Gráfica 42: Gradiente térmico entre la cara superior e inferior de la losa 3 en el borde.** Se observa en la gráfica un comportamiento similar al gradiente en el centro de la losa donde el mayor diferencial se presenta alrededor del mediodía.



**Gráfica 43: Gradiente térmico entre la cara superior e inferior de la losa 3 en la esquina.** De igual forma la gráfica nos da la certeza que el mayor gradiente térmico se presenta en el horario del pico solar. El siguiente es el que ocurre en la noche por ello se deduce que el mayor esfuerzo a compresión que la losa sufre en en la noche y el mayor en dilatación ocurren el pico solar.



### MEDICION DE LA CONTRACCION Y DILATAACION DE LA LOSA 3

La acción de la temperatura en la losas de pavimento rigido como se hablo en las dos anteriores losases inevitable porque ellas se encuentran a la intemperie, es necesarioconocer la acción queprovocaen las losas de manera que se pueda establecer posiblesoluciones.

**Tabla 63: Medición de la dilatación y contracción debido a la temperatura en la losa 3.** Se espera que la contracción y dilatación reaccionen de acuerdo a una debida temperatura,sin embargo esta temperatura varia y la losa se comporta de acuerdo al calor que absorbió al frio que se sometió, por tal motivo es preferible trabajar con los gradientes detemperatura que ocurrenentre el día y la noche. La tabla presenta las temperaturaspromedio de la losa entre los tres puntosmedidos de la misma, de acuerdo con ella se hangenerado los gradientes de temperatura donde elpositivo indica que la temperaturaascendió y el negativo que descendió, para el correspondientegradiante se muestran laslongitudes que fue tomando la losa tanto de una lado como del otro y elefecto que sufrió.

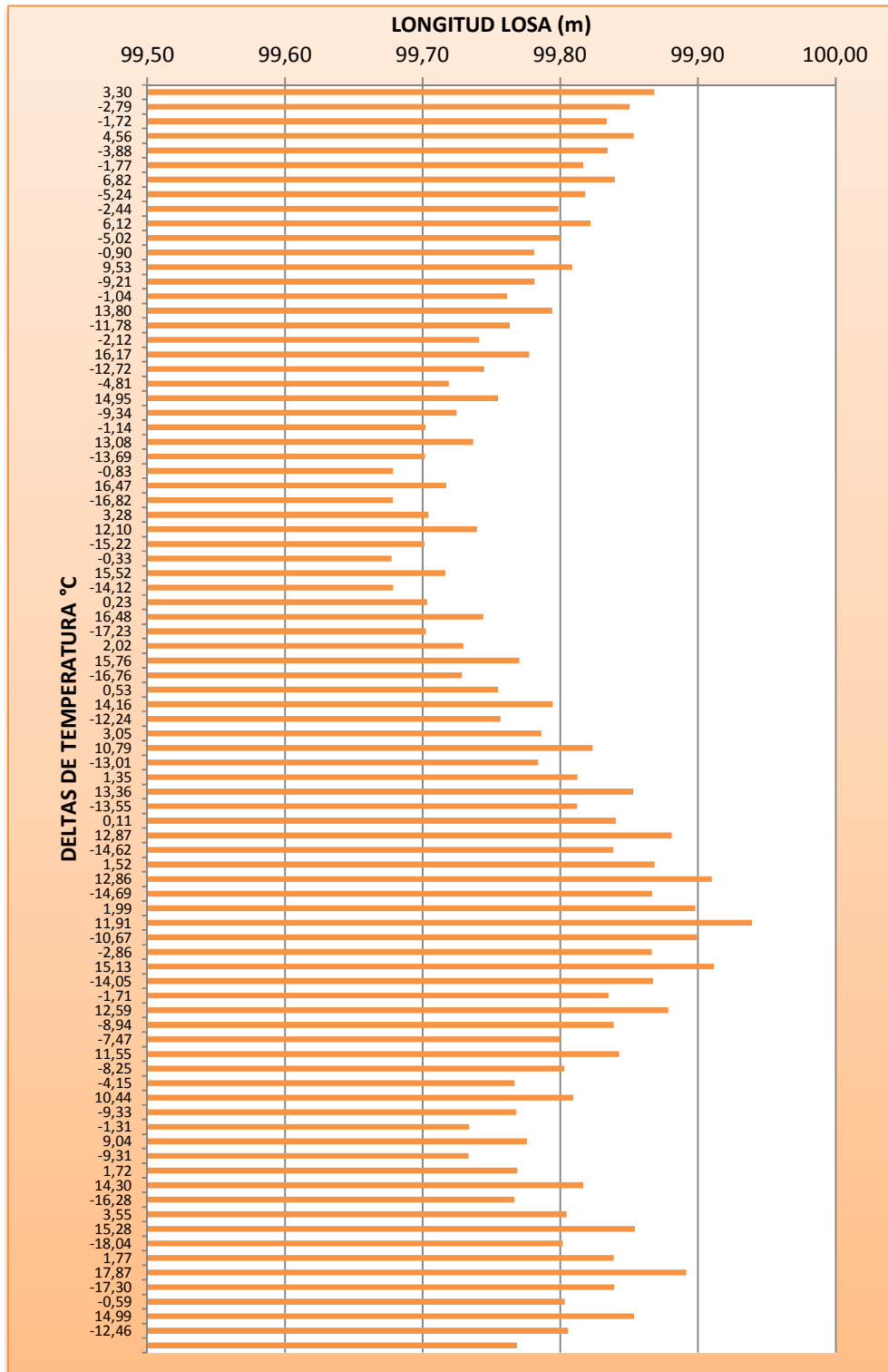
EDAD	HORA	TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LOSA	$\Delta T$ (°C)	LADO1 (mm)	LADO2 (mm)	EFECTO
1	8:30	16.88		998.00	998.00	RETRACCION
1	12:30	20.18	3.30	998.35	998.35	DILATAACION
1	20:45	17.39	-2.79	998.00	998.00	CONTRACCION
2	7:40	15.68	-1.72	997.70	997.70	CONTRACCION
2	13:00	20.23	4.56	998.05	998.05	DILATAACION
2	21:00	16.35	-3.88	997.70	997.70	CONTRACCION
3	8:30	14.58	-1.77	997.40	997.40	CONTRACCION
3	14:00	21.40	6.82	997.80	997.80	DILATAACION
3	20:30	16.16	-5.24	997.40	997.40	CONTRACCION
4	7:30	13.72	-2.44	997.05	997.05	CONTRACCION
4	14:30	21.60	7.88	997.45	997.45	DILATAACION
4	23:00	14.82	-6.78	997.05	997.05	CONTRACCION
5	8:30	13.92	-0.90	996.70	996.70	CONTRACCION
5	13:30	23.45	9.53	997.20	997.20	DILATAACION

5	23:00	14.24	-9.21	996.70	996.70	CONTRACCION
6	9:00	13.20	-1.04	996.35	996.35	CONTRACCION
6	14:00	27.00	13.80	996.95	996.95	DILATACION
6	20:30	15.23	-11.78	996.40	996.40	CONTRACCION
7	7:30	13.11	-2.12	996.00	996.00	CONTRACCION
7	13:30	29.28	16.17	996.65	996.65	DILATACION
7	20:00	16.56	-12.72	996.05	996.05	CONTRACCION
8	7:00	11.75	-4.81	995.60	995.60	CONTRACCION
8	14:00	26.70	14.95	996.25	996.25	DILATACION
8	20:00	17.36	-9.34	995.70	995.70	CONTRACCION
9	8:00	16.22	-1.14	995.30	995.30	CONTRACCION
9	13:00	29.30	13.08	995.90	995.90	DILATACION
9	21:00	15.61	-13.69	995.30	995.30	CONTRACCION
10	8:30	14.78	-0.83	994.90	994.90	CONTRACCION
10	13:00	31.25	16.47	995.60	995.60	DILATACION
10	22:00	14.43	-16.82	994.90	994.90	CONTRACCION
11	9:00	17.72	3.28	995.35	995.35	DILATACION
11	12:30	29.82	12.10	995.95	995.95	DILATACION
11	22:00	14.60	-15.22	995.25	995.25	CONTRACCION
12	7:00	14.27	-0.33	994.80	994.80	CONTRACCION
12	12:30	29.78	15.52	995.50	995.50	DILATACION
12	22:30	15.67	-14.12	994.80	994.80	CONTRACCION
13	7:30	15.90	0.23	995.25	995.25	DILATACION
13	12:00	32.38	16.48	995.95	995.95	DILATACION
13	21:00	15.15	-17.23	995.20	995.20	CONTRACCION
14	7:30	17.17	2.02	995.80	995.80	DILATACION
14	22:30	32.93	15.76	996.55	996.55	DILATACION
14	7:30	16.17	-16.76	995.80	995.80	CONTRACCION
15	12:00	16.70	0.53	996.25	996.25	DILATACION
15	21:00	30.86	14.16	996.95	996.95	DILATACION
15	7:30	18.62	-12.24	996.25	996.25	CONTRACCION
16	12:30	21.67	3.05	996.80	996.80	DILATACION
16	22:00	32.46	10.79	997.45	997.45	DILATACION
16	7:00	19.45	-13.01	996.75	996.75	CONTRACCION
17	12:00	20.80	1.35	997.25	997.25	DILATACION
17	23:25	34.16	13.36	998.00	998.00	DILATACION
17	8:00	20.61	-13.55	997.25	997.25	CONTRACCION
18	12:30	20.72	0.11	997.75	997.75	DILATACION
18	23:20	33.58	12.87	998.50	998.50	DILATACION
18	8:00	18.97	-14.62	997.75	997.75	CONTRACCION
19	12:30	20.49	1.53	998.30	998.30	DILATACION
19	22:30	34.15	13.66	999.05	999.05	DILATACION
19	8:30	18.67	-15.49	998.25	998.25	CONTRACCION

20	12:00	20.65	1.99	998.80	998.80	DILATACION
20	20:00	32.57	11.91	999.55	999.55	DILATACION
20	8:30	21.90	-10.67	998.85	998.85	CONTRACCION
21	12:30	19.04	-2.86	998.25	998.25	CONTRACCION
21	20:55	34.17	15.13	999.05	999.05	DILATACION
21	9:00	20.12	-14.05	998.25	998.25	CONTRACCION
22	12:47	18.41	-1.71	997.65	997.65	CONTRACCION
22	20:47	31.00	12.59	998.45	998.45	DILATACION
22	8:30	22.05	-8.94	997.75	997.75	CONTRACCION
23	12:30	14.59	-7.47	997.05	997.05	CONTRACCION
23	23:12	26.14	11.55	997.80	997.80	DILATACION
23	7:48	17.88	-8.25	997.10	997.10	CONTRACCION
24	12:22	13.74	-4.15	996.45	996.45	CONTRACCION
24	21:55	24.18	10.44	997.20	997.20	DILATACION
24	8:30	14.85	-9.33	996.45	996.45	CONTRACCION
25	12:32	13.54	-1.31	995.80	995.80	CONTRACCION
25	22:18	22.58	9.04	996.55	996.55	DILATACION
25	8:25	13.27	-9.31	995.80	995.80	CONTRACCION
26	12:10	14.99	1.72	996.45	996.45	DILATACION
26	23:10	29.28	14.30	997.30	997.30	DILATACION
26	7:42	13.00	-16.28	996.40	996.40	CONTRACCION
27	12:55	16.55	3.55	997.10	997.10	DILATACION
27	22:34	31.84	15.28	998.00	998.00	DILATACION
27	8:00	13.80	-18.04	997.05	997.05	CONTRACCION
28	23:10	15.57	1.77	997.70	997.70	DILATACION
28	7:42	33.44	17.87	998.65	998.65	DILATACION
28	12:55	16.14	-17.30	997.70	997.70	CONTRACCION
29	22:34	15.55	-0.59	997.05	997.05	CONTRACCION
29	8:00	30.54	14.99	997.95	997.95	DILATACION
29	12:46	18.08	-12.46	997.10	997.10	CONTRACCION
30	22:40	16.56	-1.52	996.45	996.45	CONTRACCION

**Gráfica 44: Evolución de la longitud de la losa 3 de acuerdo con el gradiente térmico.** Se observa que cuando el gradiente es positivo la losa se dilata y cuando es negativo se contrae. Se observa el movimiento de la longitud de la losa, en una primera instancia sufre una tendencia a disminuir la longitud, a continuación se ve que se recupera e incluso llega a superar su longitud inicial pero al terminar el proceso observado reduce su longitud. Debe aclararse que esta tercera losa ha recibido

menos rayos solares en comparación con las anteriores debido a su ubicación.

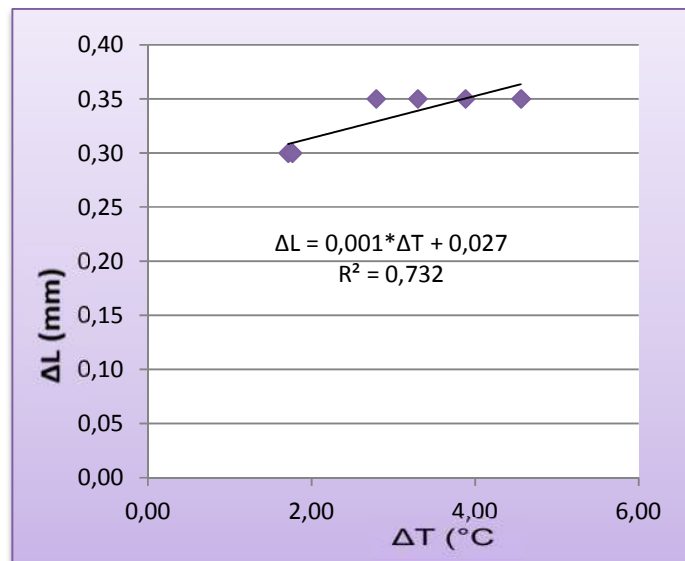


**Tabla 64: Gradientes de temperatura producen deltas de longitud en la losa 3.** Se observó que los  $\Delta L$  se comportan de acuerdo a la edad de la losa , pues la dilatación y contracción es mayor en los días en que la losa aún se encuentra en proceso de secado. Por tal motivo se muestran en la tabla los días 1-7.

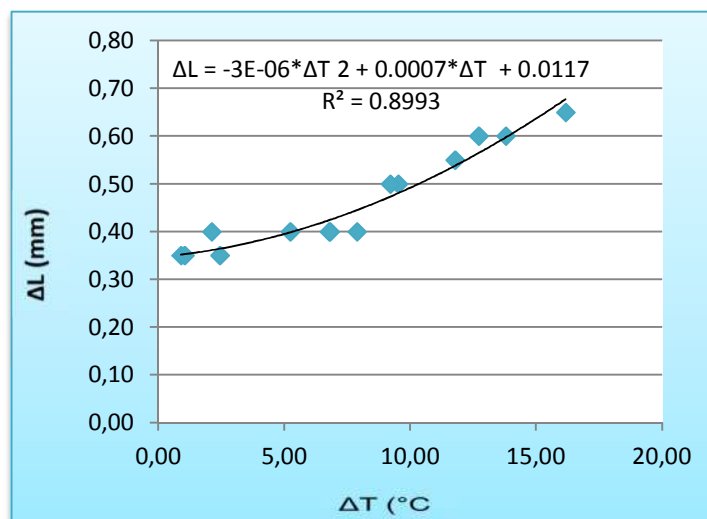
$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$
°C	mm
3.30	0.35
2.79	0.35
1.72	0.30
4.56	0.35
3.88	0.35
1.77	0.30
6.82	0.40
5.24	0.40
2.44	0.35
7.88	0.40
6.78	0.40
0.90	0.35
9.53	0.50
9.21	0.50
1.04	0.35
13.80	0.60
11.78	0.55
2.12	0.40
16.17	0.65
12.72	0.60

**Gráfica 45: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al  $\Delta$  de temperaturas; de 1-2 días de edad, losa .**

Se observa que a mayor gradiente de temperatura mayor diferencial de longitud por tanto se estima que mientras más crece el gradiente más contracción o dilatación sufre la losa. Los datos de los días con los que se graficó, muestran una buena correlación.



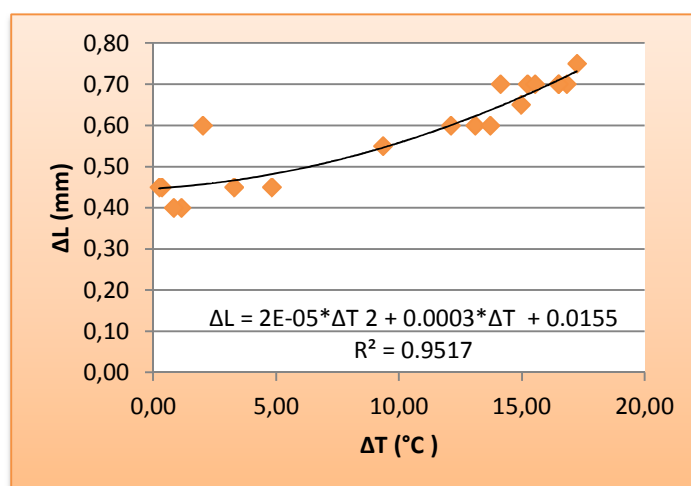
**Gráfica 46:** Diferencial de longitud contracción u dilatación acuerdo al  $\Delta$  de temperaturas; de 3-7 días de edad, losa.



**Tabla 65:** Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 8 - 14 días para losa 3. Se observa en la gráfica que el gradiente térmico no crece en la misma magnitud que el delta de longitud, es decir la variación de longitud en esta edad es similar a la 3-7 días y menor que los 2 primeros días.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ mm
4.81	0.45
14.95	0.65
9.34	0.55
1.14	0.40
13.08	0.60
13.69	0.60
0.83	0.40
16.47	0.70
16.82	0.70
3.28	0.45
12.10	0.60
15.22	0.70
0.33	0.45
15.52	0.70
14.12	0.70
0.23	0.45
16.48	0.70
17.23	0.75
2.02	0.60

**Gráfica 47:** Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al gradientetérmico; día de 7 a 14 en edad para losa 3. De acuerdo con la gráfica los resultados de la medición tienen buena correlación y los deltas de longitud crecen en cuanto crecen los de temperatura.



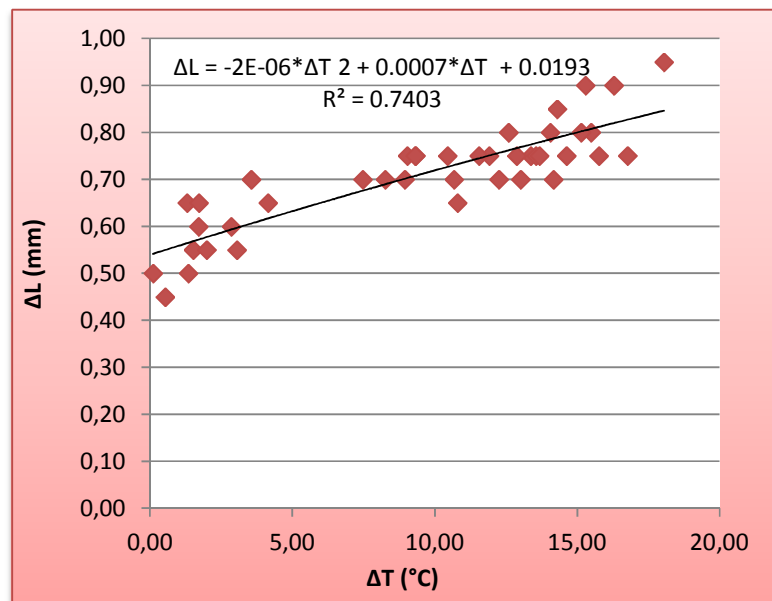
**Tabla 66: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura. Edad 15 - 27 días para losa 3.**

Los gradientes térmicos presentados en la tabla corresponden al valor absoluto de la diferencia entre la noche y el día, ocasionan que la losa cambie de longitud, los diferenciales de longitud corresponden a una longitud de losa de 1 m en ambos lados. Los valores de longitud siguen una variación de acuerdo con los diferenciales de temperaturas.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ mm
15.76	0.75
16.76	0.75
0.53	0.45
14.16	0.70
12.24	0.70
3.05	0.55
10.79	0.65
13.01	0.70
1.35	0.50
13.36	0.75
13.55	0.75
0.11	0.50
12.87	0.75
14.62	0.75
1.53	0.55
13.66	0.75
15.49	0.80
1.99	0.55
11.91	0.75
10.67	0.70
2.86	0.60
15.13	0.80
14.05	0.80
1.71	0.60
12.59	0.80
8.94	0.70
7.47	0.70
11.55	0.75
8.25	0.70
4.15	0.65
10.44	0.75

9.33	0.75
1.31	0.65
9.04	0.75
9.31	0.75
1.72	0.65
14.30	0.85
16.28	0.90
3.55	0.70
15.28	0.90
18.04	0.95

**Gráfica 48: Diferencial de longitud contracción u dilatación para un delta de temperaturas; día de 15a 27 para losa 3.** Entre el día 15 - 27 de edad de la losa de pavimento rígido, según muestra la gráfica que el diferencial de longitud de dilatación y contracción a disminuido, sin perder su ascenso.

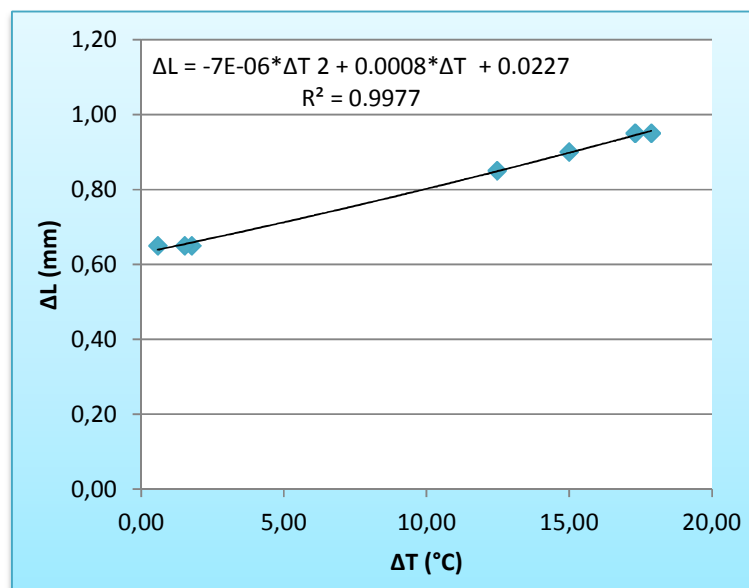


**Tabla 67: Diferenciales de longitud correspondiente a un delta de temperatura para losa 3. Edad 28 - 30 días.**

Se presentan en la tabla la variación longitud de contracción y dilatación según corresponda para un respectivo gradiente de temperatura, según los valores , es notable una disminución del diferencial de longitud.

$\Delta T$ (°C)	$\Delta L$ mm
1.77	0.65
17.87	0.95
17.30	0.95
0.59	0.65
14.99	0.90
12.46	0.85
1.52	0.65

**Gráfica 49: Diferencial de longitud contracción u dilatación de acuerdo al delta de temperaturas de losa 3; edad 28 a 30 días.** Se observa en la gráfica un disminución de la variación de longitud cuando la losa ya a alcanzado el 100% de su resistencia según referencia bibliográfica. Se puede decir entonces que el comportamiento de la losas ante la contracción y dilatación, es variable de acuerdo a la edad.



### DILATACION DE LA LOSA 3

**Tabla 68: Deltas de longitud según temperatura para losa 3.**

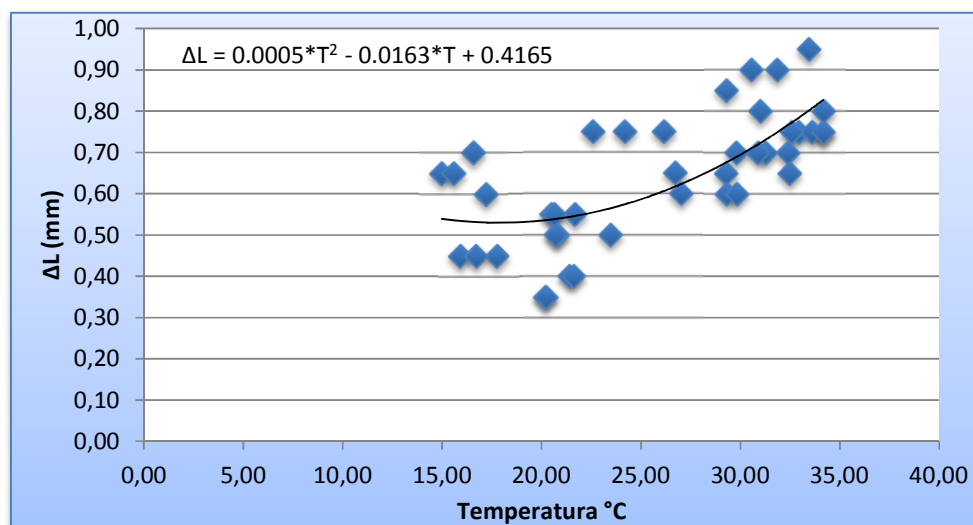
La tabla pretende mostrar la variación en conjunto del comportamiento de las losas de pavimento rígido de acuerdo con la temperatura en cuanto a dilatación.

<b>Tempe. Prom. °C</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>
20.18	0.35
20.23	0.35
21.40	0.40
21.60	0.40
23.45	0.50
27.00	0.60
29.28	0.65
26.70	0.65
29.30	0.60
31.25	0.70
17.72	0.45
29.82	0.60
29.78	0.70
15.90	0.45
32.38	0.70
17.17	0.60
32.93	0.75
16.70	0.45
30.86	0.70
21.67	0.55
32.46	0.65
20.80	0.50
34.16	0.75
20.72	0.50
33.58	0.75
20.49	0.55
34.15	0.75
20.65	0.55
32.57	0.75
34.17	0.80
31.00	0.80
26.14	0.75
24.18	0.75
22.58	0.75

14.99	0.65
29.28	0.85
16.55	0.70
31.84	0.90
15.57	0.65
33.44	0.95
30.54	0.90

### Gráfica 50: Comportamiento de la dilatación ante la temperatura para losa 3.

Se observa que la dilatación asciende acuerdo con la temperatura, sin embargo los datos de la gráfica corresponden a la dilatación en conjunto que sufrió la losa más como se explicó en las anteriores gráficas ésta varía según la edad del pavimento, pero en general es aceptable por que muestra la tendencia de aumento.



### DILATACION SEGÚN LA EDAD

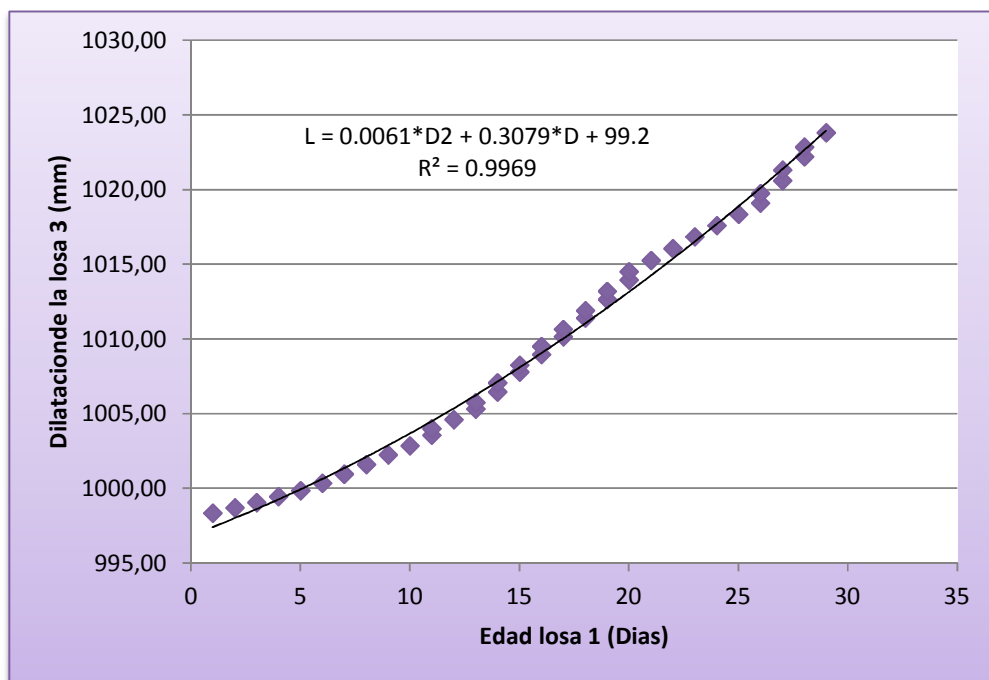
#### Tabla 69: Dilatación de la losa 3.

Se presenta en la tabla un modelo donde se puede ver solo la dilatación que sufre la losa 3.

EDAD	L (mm)
1	998.35
2	998.70
3	999.05
4	999.45
5	999.85
6	1000.35
7	1000.95
8	1001.60
9	1002.25
10	1002.85
11	1003.55
11	1004.00
12	1004.60
13	1005.30
13	1005.75
14	1006.45
14	1007.05
15	1007.80
15	1008.25
16	1008.95
16	1009.50
17	1010.15
17	1010.65
18	1011.40
18	1011.90
19	1012.65
19	1013.20
20	1013.95
20	1014.50
21	1015.25
22	1016.05
23	1016.85
24	1017.60
25	1018.35
26	1019.10
26	1019.75
27	1020.60
27	1021.30
28	1022.20
28	1022.85

29	1023.80
----	---------

**Gráfica 51: Comportamiento de la dilatación de la losa 3 de acuerdo a la edad.** Se ha optado por generar un modelo de solo dilatación de la losa para ver su comportamiento, de acuerdo con la edad asciende un grado casi paralelo a partir del día 14 y hasta el día 14 el crecimiento es relativamente suave.



### CONTRACCION DE LA LOSA 3

**Tabla 70: Deltas de longitud según temperatura para contracción losa 3.**

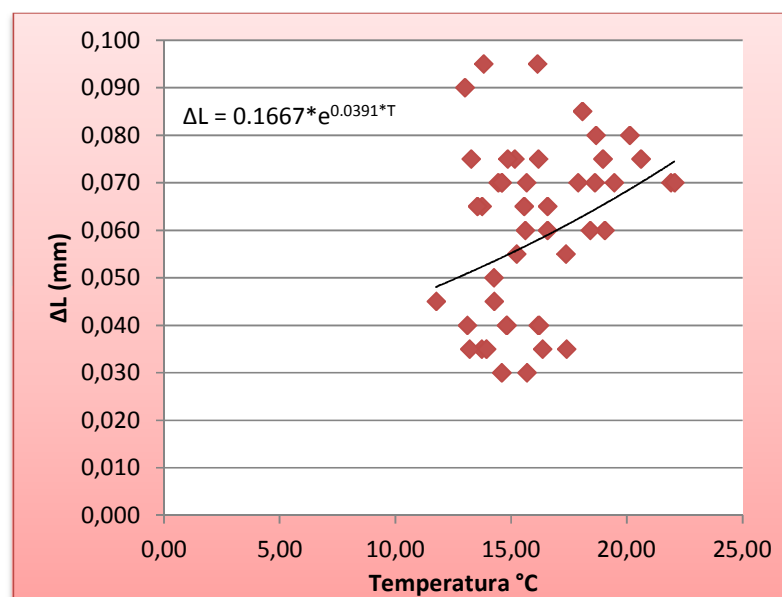
Al igual que para la dilatación se agruparon las contracciones para ver su comportamiento, datos que se observan en la tabla siguiente.

Tempe. °C	$\Delta L$ (mm)
17.39	0.35

15.68	0.30
16.35	0.35
14.58	0.30
16.16	0.40
13.72	0.35
14.82	0.40
13.92	0.35
14.24	0.50
13.20	0.35
15.23	0.55
13.11	0.40
16.56	0.60
11.75	0.45
17.36	0.55
16.22	0.40
15.61	0.60
14.78	0.40
14.43	0.70
14.60	0.70
14.27	0.45
15.67	0.70
15.15	0.75
16.17	0.75
18.62	0.70
19.45	0.70
20.61	0.75
18.97	0.75
18.67	0.80
21.90	0.70
19.04	0.60
20.12	0.80
18.41	0.60
22.05	0.70
14.59	0.70
17.88	0.70
13.74	0.65
14.85	0.75
13.54	0.65

13.27	0.75
13.00	0.90
13.80	0.95
16.14	0.95
15.55	0.65
18.08	0.85
16.56	0.65

**Gráfica 52: Comportamiento de la contracción de la losa 3 ante la temperatura.** Se observa que aunque los datos tienden a ascender según la temperatura también se ve la variación del delta de longitud para la misma temperatura, se debe a la contracción va de acuerdo a la edad del concreto, en general la asciende pero no se puede decir que la gráfica tiene una función lineal con la temperatura.



### CONTRACCION SEGÚN LA EDAD

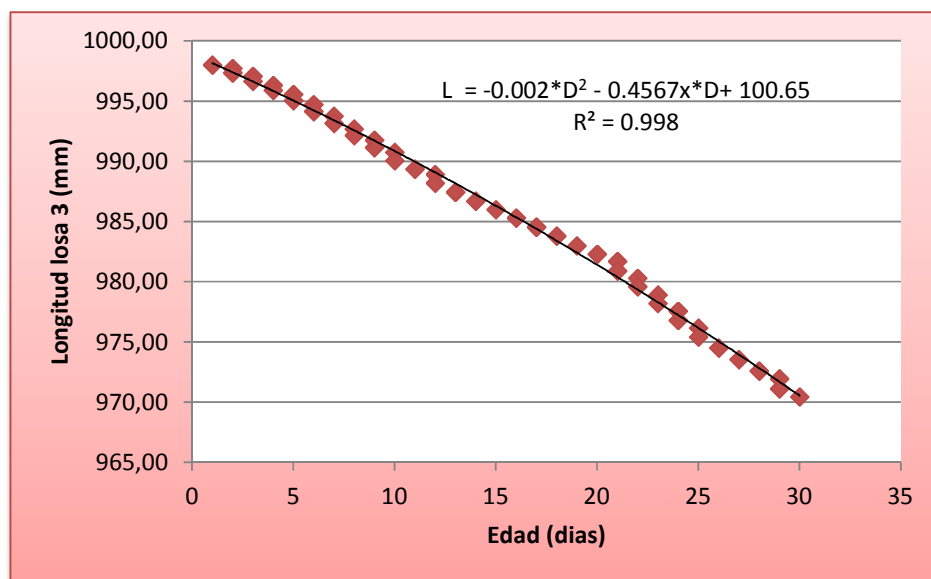
**Tabla 71: Longitud según edad de la losa 3.**

Se presenta en la tabla la longitud que presentaría si la losa solo se contrajera, objeto de apreciar el comportamiento de la contracción.

EDAD	L (mm)
1	998.00
2	997.70
2	997.35
3	997.05
3	996.65
4	996.30
4	995.90
5	995.55
5	995.05
6	994.70
6	994.15
7	993.75
7	993.15
8	992.70
8	992.15
9	991.75
9	991.15
10	990.75
10	990.05
11	989.35
12	988.90
12	988.20
13	987.45
14	986.70
15	986.00
16	985.30
17	984.55
18	983.80
19	983.00
20	982.30
21	981.70
21	980.90
22	980.30
22	979.60
23	978.90
23	978.20

24	977.55
24	976.80
25	976.15
25	975.40
26	974.50
27	973.55
28	972.60
29	971.95
29	971.10
30	970.45

**Gráfica 53: Comportamiento de la contracción de la losa 3 de acuerdo a la edad.** Se observa en la gráfica que de acuerdo a la edad la longitud tiende a disminuir.



### ALABEO DE LA LOSA 3

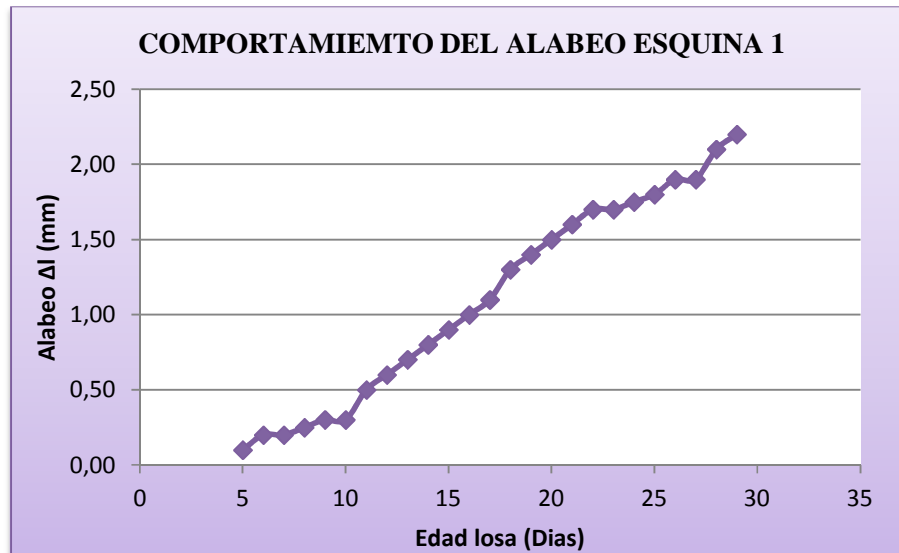
**Tabla 72: Alabeo de la losa 3.**

Se observó que el alabeo crece de acuerdo a la edad, producto de la dilatación y contracción al que por ser térmico están íntimamente ligados con los esfuerzos que provocan las mismas, este es milimétrico pero no deja de ser un problema cuando el pavimento rígido trabaja con las cargas de los vehículos. El gradiente de temperatura al que está sometido la losa en el momento de su medición es negativo pues la parte superior de la losa 2 presenta menor temperatura que la inferior, aunque esteyaes el resultado de adilatación antes ya sufrida.

<b>EDAD</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 1</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 2</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 3</b>	<b>ALABEO EN LA ESQUINA 4</b>
E	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$	$\Delta l$
Dias	mm	mm	mm	mm
5	0,10	0,10	0,10	0,10
6	0,20	0,20	0,20	0,20
7	0,20	0,20	0,20	0,20
8	0,25	0,25	0,20	0,25
9	0,30	0,25	0,25	0,25
10	0,30	0,30	0,30	0,30
11	0,50	0,50	0,50	0,40
12	0,60	0,60	0,60	0,60
13	0,70	0,70	0,70	0,70
14	0,80	0,80	0,80	0,80
15	0,90	0,90	0,90	0,90
16	1,00	1,05	1,05	1,00
17	1,10	1,10	1,15	1,15
18	1,30	1,30	1,30	1,30
19	1,40	1,40	1,40	1,40
20	1,50	1,50	1,50	1,50
21	1,60	1,60	1,60	1,60
22	1,70	1,70	1,70	1,70
23	1,70	1,75	1,80	1,70
24	1,75	1,80	1,80	1,80
25	1,80	1,80	1,90	1,95
26	1,90	1,95	2,00	2,00
27	1,90	2,00	2,10	2,05
28	2,10	2,05	2,30	2,10
29	2,20	2,10	2,40	2,35

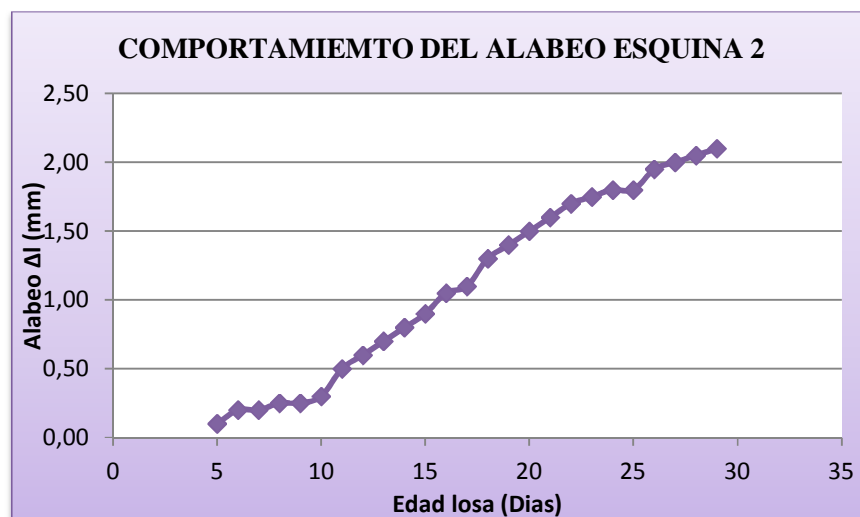
**Gráfica 54: Alabeo de la losa 3 en la esquina 1.**

Se puede observar que el alabeo es leve entre el 5 y 10 día de edad, mayor entre el 10 y 22 y nuevamente leve durante los próximos cuatro días.



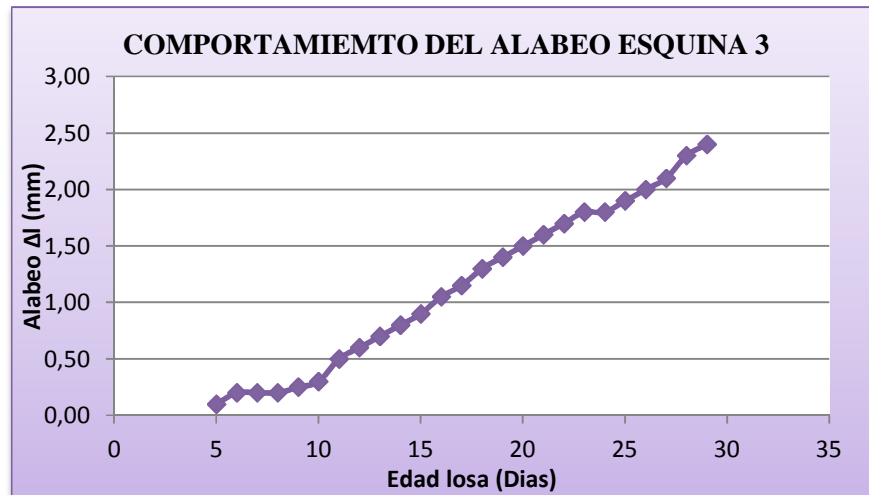
**Gráfica 55: Alabeo de la losa 3 en la esquina 2.**

La esquina 2 presenta un comportamiento similar a la 1, tiende a ascender de acuerdo con la edad de la losa de pavimento rígido.



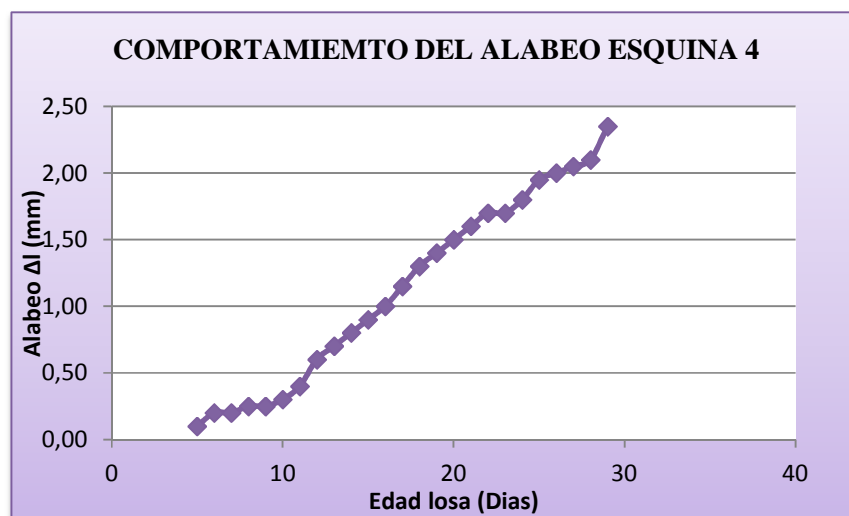
**Gráfica 56: Alabeo de la losa 3 en la esquina 3.**

Se observa en la gráfica que la esquina sufrió mayores esfuerzos, pues de acuerdo con la teoría y la absorción tuvo lugar un mayor alabeo, aunque la diferencia sea milimétrica de acuerdo a ello es considerable.



**Gráfica 57: Alabeo de la losa 3 en la esquina 4.**

La similitud entre los alabeo del resto de la esquina con la presente es indiscutible de acuerdo a comportamiento que se observan en sus graficas con respecto a la edad.



#### 4.4.- Análisis y valoración de los resultados.

- Las temperaturas máximas y mínimas que se presentaron durante los 4 primeros días cuando las losas se encontraban en proceso de adquirir rigidez fueron las de la tabla 71, las tres se encontraban a la misma temperatura ambiente sin embargo reaccionaron de diferente manera, en cuanto a la temperatura máxima que adquirieron por la ubicación individual de cada una y por tanto por la absorción de mayor o menor calor de cada una, el orden de disminución concuerda con lo mencionado pues la losa 1 que recibió mayor sol presenta temperaturas de 28.4 °C en el centro 27.45 °C en el borde y 25.65 °C en las esquinas; a diferencia de la que recibió menos sol presenta temperaturas de 21.4 °C, 21.53 °C y 21.78 °C es notoria la diferencia. En cuanto a la temperatura mínima, que se estima se presentó entre la noche y el inicio de la mañana, se observó que la variación es mínima, viendo la tabla 73 se puede decir que cuando las temperaturas bajan en las losas hay una similitud entre los valores de temperatura. El gradiente térmico máximo entre el día y noche presentado fue de 14.7 °C en la losa 1 en el centro, mientras que el mínimo se presentó fue de 7.6 en el centro de la losa 3, de lo que se deduce que mientras más horas a los rayos del sol se vea sometido un pavimento rígido y la temperatura ambiente disminuya lo más, se da un mayor gradiente térmico, mientras menos varíe la temperatura a menor gradiente térmico se ve sometida una losa.

Temperatura	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Gradiente térmico máximo ocurrido
Ambiente	27.50	14.80	12.70
En el centro de la losa 1	28.40	13.70	14.70
En el borde de la losa 1	27.45	13.25	14.20

En la esquina de la losa 1	25.65	13.23	12.43
En el centro de la losa 2	23.50	13.70	9.80
En el borde de la losa 2	23.90	13.70	10.20
En la esquina de la losa 2	25.03	13.78	11.25
En el centro de la losa 3	21.40	13.80	7.60
En el borde de la losa 3	21.53	13.70	7.83
En la esquina de la losa 3	21.78	13.65	8.13

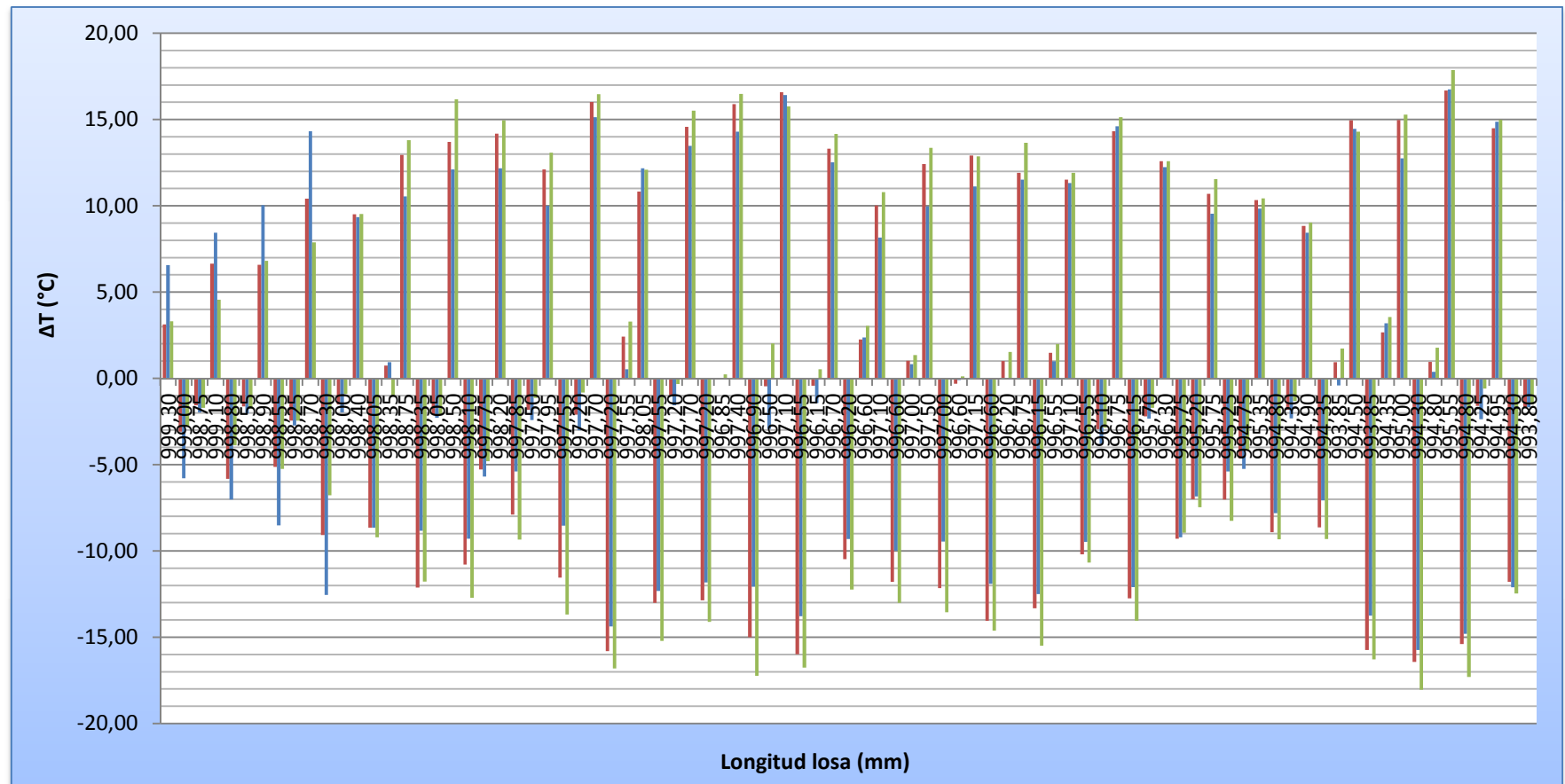
***Tabla 73: Temperaturas máximas y mínimas, gradiente térmico máximo ocurrido durante los 4 días de edad de las losas.***

- La temperatura influye directamente sobre las losas de pavimento rígido causando esfuerzos de contracción, dilatación y alabeo, que de no considerar las deformaciones que dejan, pueden presentarse problemas mayores, y más aún si se ocurrieran gradientes extremos. El conocer el comportamiento de estos esfuerzos, permitirá prever una solución adecuada. Los gradientes máximos entre las caras superior e inferior, a los que se vieron sometidas las losas a partir del día 5 hasta el día 30 corresponden a la tabla 74, donde en la losa 2 y 3 el mayor gradiente térmico entre las caras de las losas, es de 14.6 y se da en el centro; y en la losa 1 en el borde con un valor de 12.05, corroborando con la teoría que indica al centro, borde y esquina, que son los puntos críticos de una losa de pavimento rígido, porque mientras mayor sea este gradiente a mayores esfuerzos reacciona la losa. Analizando la mitad superior en contracción y la mitad inferior en dilatación y viceversa, se deduce que del gradiente entre los extremos de las mitades es el que determina cuanto alabeo resulte de ello determinando su tendencia.

Gradiente térmico	Centro	Borde	Esquina
Losa 1	9.2	12.05	10.5
Losa 2	14.6	10.5	10.5
Losa 3	14.6	10.5	10.5

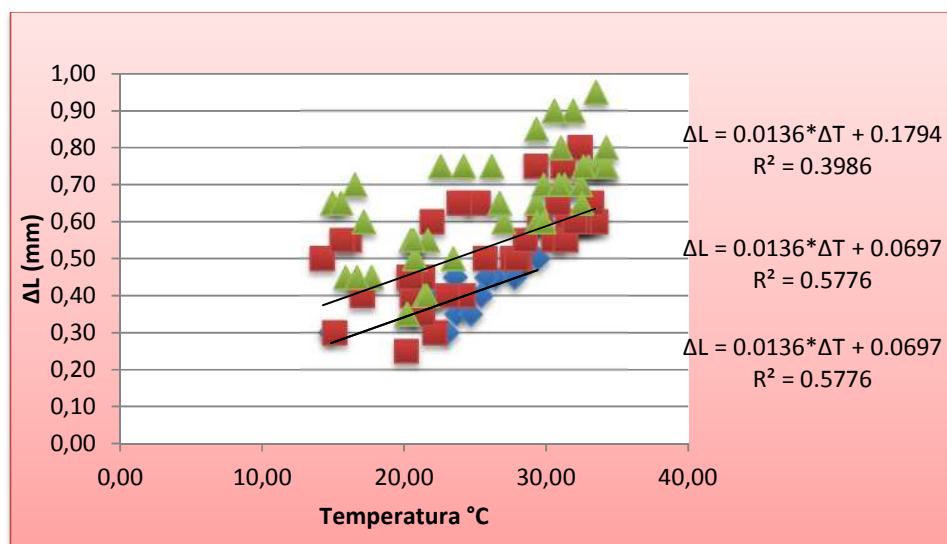
**Tabla 74: Gradiente térmicos en las losas.**

- La dilatación y contracción aumentan según el gradiente térmico entre la noche y el día, como se ve en la gráfica 58, donde las losas llegan a tener un longitudinalrededor de 993.8 mm perdiendo casi 4 mm desde su retracción que fue de alrededor de 2 mm.El gradiente térmico máximo alcanzado en el total de mediciones se dio tanto para contracción y como para dilatación a 18 °C de acuerdo con la gráfica 58, y se analiza que presento la mayor contracción y dilatación el día que ocurrió ese gradiente y se dio en la losa 3. El comportamiento de la longitud que se observa en la gráfica responde a diferenciales de entre 0.020 cm y 0.095 cm tanto para contracción y como para dilatación, pues son notables los valores que adopta la longitud de las losas para el gradiente térmico correspondiente.



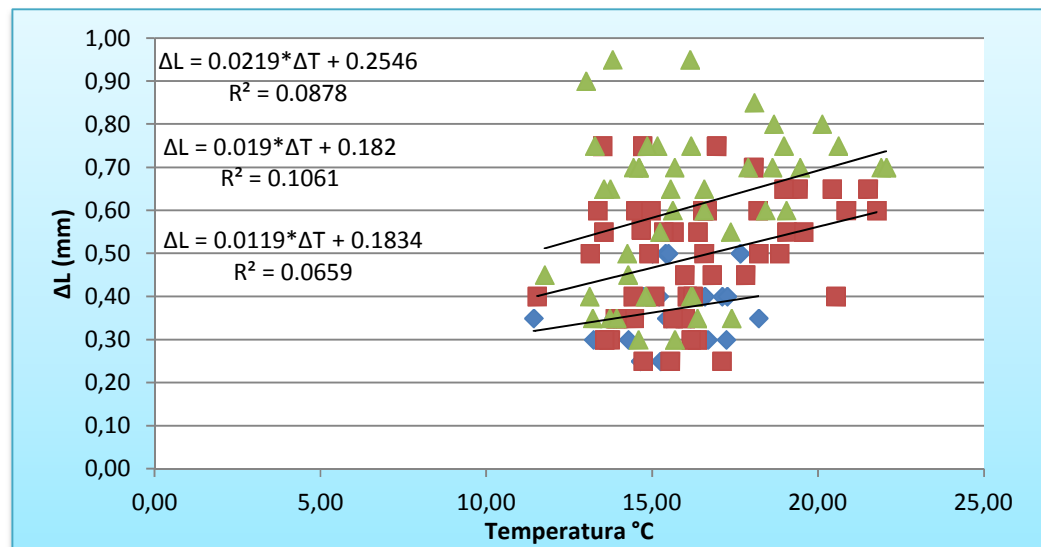
*Gráfica 58: Movimiento de la longitud de la losa de acuerdo con el gradiente a medida que pasa el tiempo.*

- La dilatación tiende a ascender de acuerdo a la temperatura sin embargo se observa poca correlación alrededor del 50 %, de los datos medidos, se debe a que la dilatación se comporta de acuerdo a la edad del concreto, se explica mediante graficasmás adelante; sin embargo la tendencia es de a mayor temperatura mayor dilatación como se puede apreciar en la gráfica 59. Se ve en la gráfica 59 que para una misma temperatura se produce una dilatación diferente pero se debe analizar que los puntos (temperatura-dilatación) corresponden a diferentes edades de las losas. La losa 1 y 3 se comportaron de una manera muy similar, esto es notorio en la gráfica 57 donde se ve que la línea de tendencia para las dos losas es la misma y la correlación de 0.577; a diferencia de la losa 2 que presenta una línea de tendencia casi paralela pero que inicia en 0.3 mm. Se debe aclarar que los puntos (temperatura-dilatación) donde para una misma temperatura se presenta similar dilatación y en la misma edad se debe al instrumento con el que se midió vernier el cual solo pudo brindar un precisión de 0.05mm. Otro aspecto que podemos analizar en la figura es que la dilatación empieza por alrededor de los 15 °C.



**Gráfica 59: Dilatación de las losas de prueba conforme a la temperatura.**

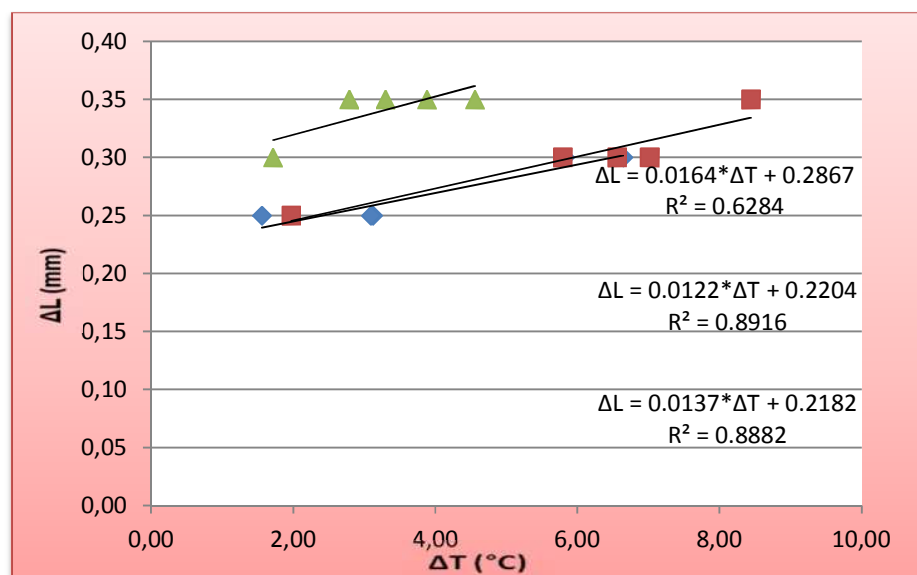
- La contracción que presentaron las losas, no presentan una buenacorrelación, pero sin embargo se ve la pérdida de longitud por contracción de acuerdo con la temperatura. Debe aclararse que la mala correlación se debe a factores como la contracción por secado, la rigidez de la losa entre otros la edad de la losa. Pero a modo de comprobar este análisis más adelante se presenta la variación de la contracción y dilatación de acuerdo con la edad.



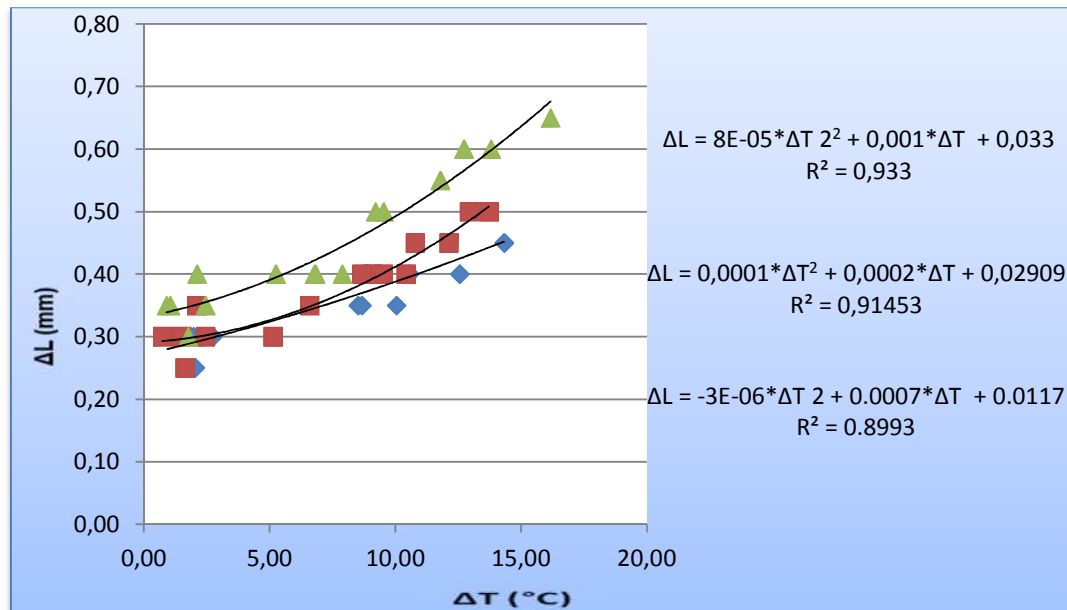
**Gráfica 60: Dilatación de las losas de prueba conforme a la temperatura.**

- El comportamiento de la variación de longitud tanto para contracción como para dilatación es de acuerdo a la edad, pues en relación al gradiente térmico al que corresponde el  $\Delta L$  las correlaciones son buenas, se observa en las gráficas la tendencia ascendente cuando se incrementa el gradiente de temperatura, por tanto se deduce que si el gradiente es negativo la correspondiente  $\Delta L$  disminuirá la losa y si es positivo aumentará como corresponda. Los datos agrupados entre los días que resultaron de mayor correlación, hasta los 28 días de edad presenta una variación de longitud

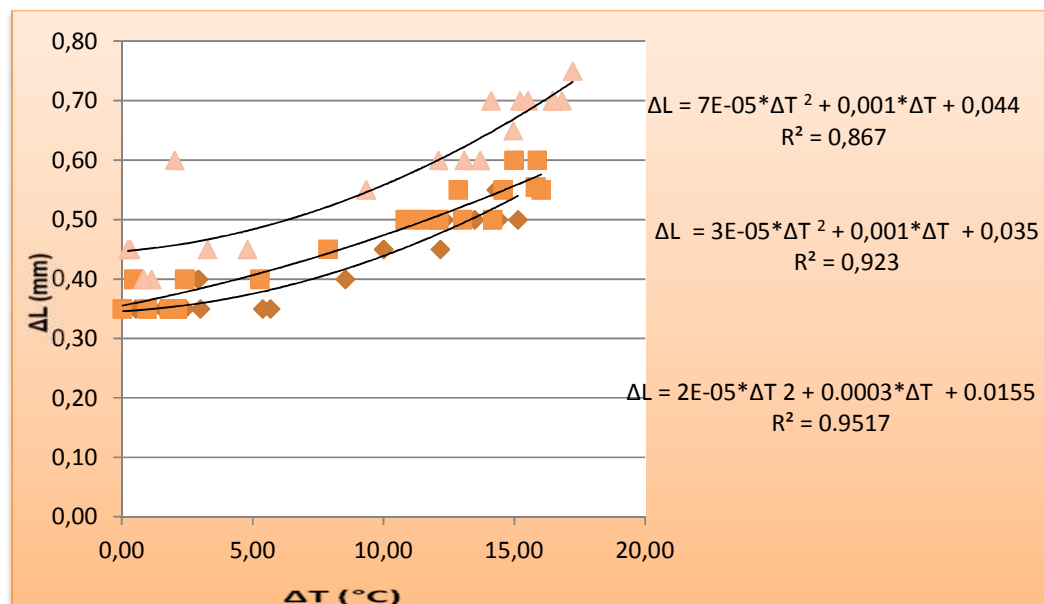
ascendente según la temperatura, pero ésta disminuye muy poco a partir de ese día lo que significa que los esfuerzos continúan en acción aunque haya adquirido mayor rigidez la losa. Se observa que en cuanto a esta variación de longitud de contracción y dilatación las tres losas presentan comportamiento similar. De 1 a 2 días de edad, las losas de pavimento rígido presentan una variación en longitud entre contracción y dilatación de aproximadamente 0.10 mm, para los días 3-7 y 8-14 presenta 0.25 mm en variación, para 15-28 es de aproximadamente 0.4 mm y para la edad de 28-30 días en edad 0.25 mm, pero a partir de los 28 días la variación de longitud tanto para contracción como para dilatación no disminuye en un porcentaje considerable el riesgo por lo que sigue siendo un problema la contracción y dilatación, más en los extremos de temperaturas, en pavimentos rígidos, razón por la cual se realizó la presente investigación.



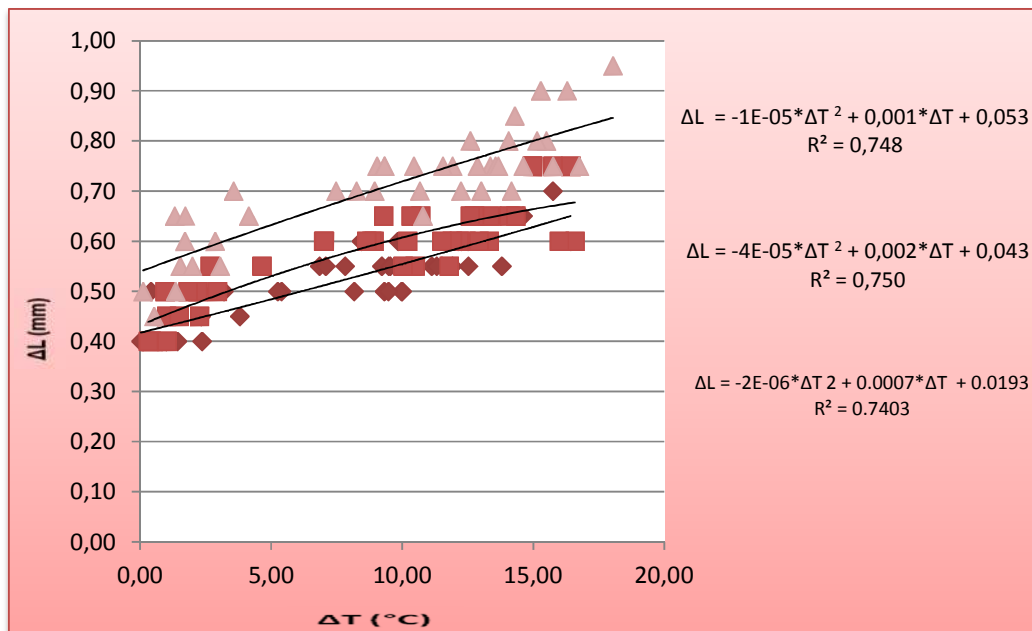
**Gráfica 61: Variación de longitud en las losas conforme al gradiente térmico a la edad de 1 a 2 días.**



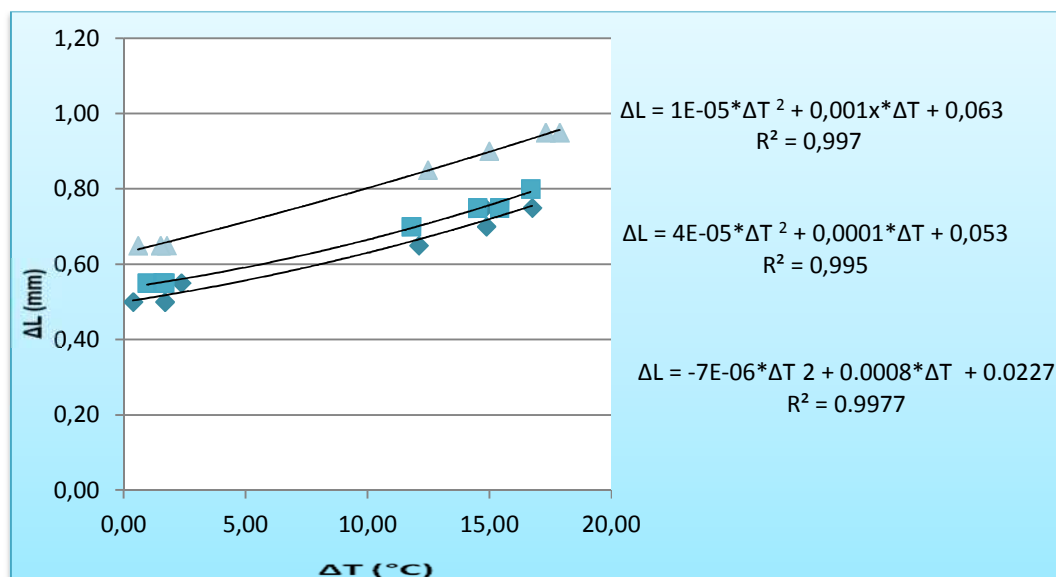
**Gráfica 62:** Variación de longitud en las losas conforme al gradiente térmico a la edad de 3 a 7 días.



**Gráfica 63:** Variación de longitud en las losas conforme al gradiente térmico a la edad de 8 a 14 días.

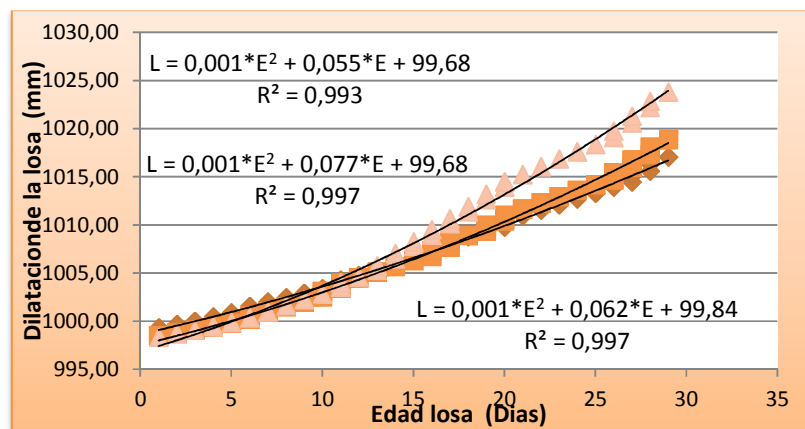


**Gráfica 64: Variación de longitud en las losas conforme al gradiente térmico a la edad de 15 a 27 días.**



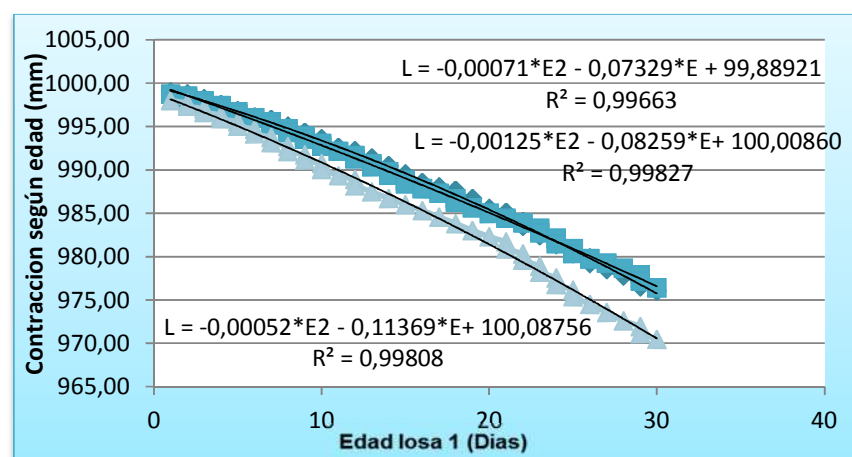
**Gráfica 65: Variación de longitud en las losas conforme al gradiente térmico a la edad de 28 a 30 días.**

- El modelo que representa la gráfica 66 corresponde a la idea de cómo se comportaría una losa si solo se dilatara y no contrajera, se observa que ascendería 25 mm de su longitud original, creciendo en conjunto con la edad. Las losas de pavimento rígido estarían sometidas a esfuerzos constantes de dilatación, lo que colapsaría en poco tiempo la resistencia de las losas. Las tres losas de prueba se comporta con similar ascendencia.



**Gráfica 66: Dilatación de las losas según edad.**

- Si solo ocurriría el esfuerzo por contracción las losas tenderían a disminuir en longitud y se comportarían de acuerdo a la edad como se muestra en la gráfica 67 donde se ve que la disminución sería similar a la contracción de 25 mm.



**Gráfica 67: Contracción de las losas según edad.**

- En las tres losas se observó que el delta de longitud producto del aumento de la temperatura crece conforme sea el gradiente, en la tabla 75 se presenta la deformación de longitud máximas y mínimas de longitud que se dieron en el tiempo de mediciones de las losas, donde la máxima fue de 0.95 mm se dio en la losa 3 para dilatación y contracción; y la mínima en la losa 2 que fue de 0.2 mm y también fue para contracción y dilatación.

**Tabla 75: Máximas y mínimas variaciones de longitud.**

$\Delta L$ (mm)	Losa 1	Losa 2	Losa 3
Máxima	0.75	0.8	0.95
Mínima	0.25	0.2	0.3

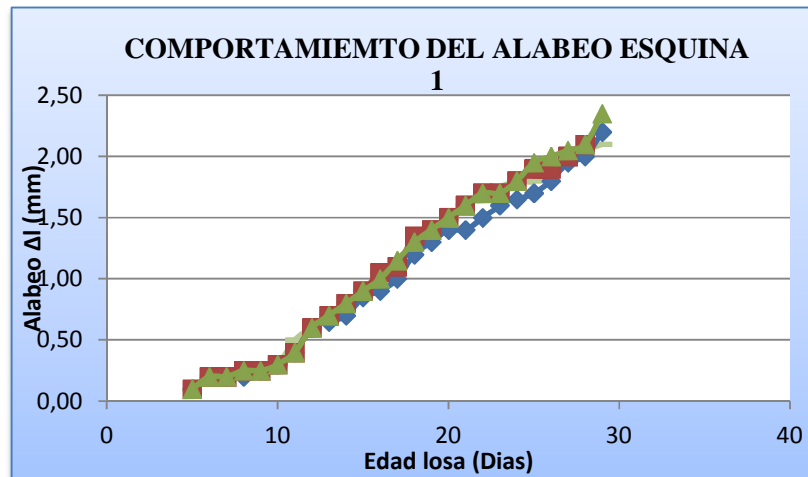
- Las deformaciones del alabeo son relativamente independientes de la longitud y ancho de las losas, y más dependientes de la temperatura pues se ha visto anteriormente como a mayor temperatura mayores esfuerzos de tensión y a menor mayores esfuerzos de compresión y por tanto mayores deformaciones de alabeo, el resultado se aprecia en la tabla 76, donde se presentó un alabeo mínimo en algunas esquinas de 2.1 mm mientras que en otras un mayor de 2.4 mm. Debe recordarse que este es resultado de los gradientes presentados entre las caras superiores e inferiores de la losa, (pues son los que someten a la losa a esfuerzos), donde el mayor fue de 14.6 °C.

**Tabla 76: Alabeo máximo y mínimo presentado en las losas**

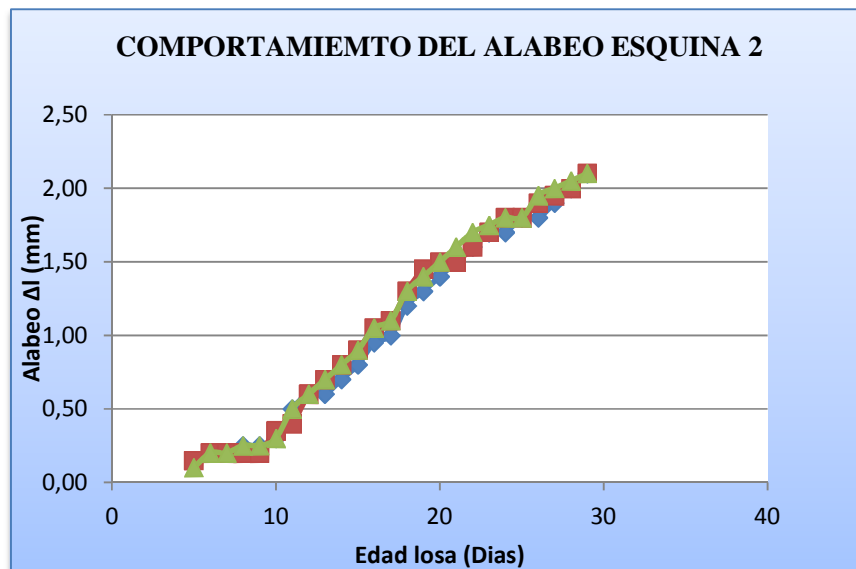
Alabeo (mm)	Losa 1	Losa 2	Losa 3
Máximo	2,3	2,4	2,4
Mínimo	2,1	2,1	2,1

- El gradiente térmico negativo sigue siendo el más nocivo, ya que es el que mayores deflexiones induce, el resultado es el alabeo ocurrido en las esquinas

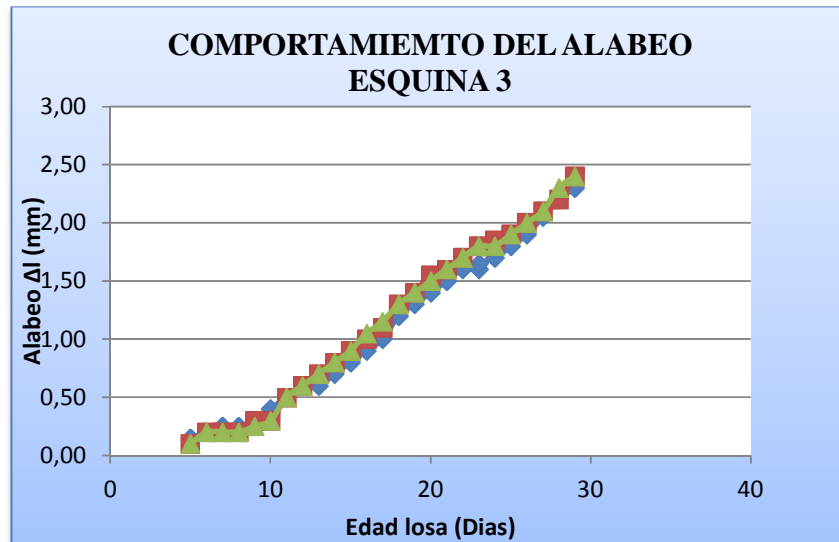
de las losas. El comportamiento es similar en las tres losas con muy poca variación en las gráficas 66,67,68 y 69 donde se ve que el incremento del alabeo es notable de acuerdo con la edad de las losas de pavimento rígido, pues queda como resultado de una serie de esfuerzos diarios a diferentes temperaturas que sufrieron las losas.



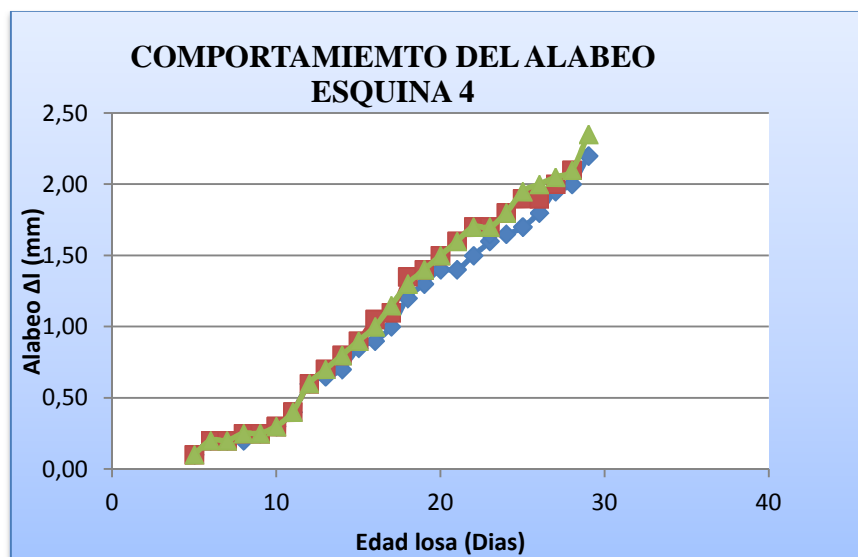
*Gráfica 68: Alabeo en la esquina 1 de las tres losas.*



*Gráfica 69: Alabeo en la esquina 2 de las tres losas.*



*Gráfica 70: Alabeo en la esquina 3 de la tres losas.*



*Gráfica 71: Alabeo en la esquina 4 de la tres losas.*

- Al aumentar la resistencia del concreto de la losa de pavimento, las deformaciones en ésta no presentan una reducción sensible, si no siguen presentando valores de la tabla 77 en contracción y en dilatación, según la temperatura a la que se vea sometida.

**Tabla 77: Última contracción y dilatación presentada en el periodo de medición.**

Última medida (mm)	Losa 1	Losa 2	Losa 3
<b>Dilatación</b>	0.70	0.75	0.90
<b>Contracción</b>	0.50	0.55	0.65

- Para un gradiente negativo se espera, de acuerdo con la teoría, que las losas se curven de manera cóncava hacia arriba. Es así como esta deformación es notoria en las esquinas de las losas, deformación correspondiente al alabeo de las losas quees visible a partir del día cinco que presenta valores de entre 0.1 y 0.15 mm y hasta el día de medición presento entre 2.1-2.4 mm, razón por la cual que se dice que el alabeo crece ante la repetida acción de la temperatura en el pavimento rígido.
- Del análisis de las gráficas 68, 69, 70 y 71 se pudo establecer lo siguiente:
  - Los mayores esfuerzos se concentran en los sitios de mayor curvatura de la losa, lo que lleva a concluir que tales esfuerzos pueden deberse al gradiente térmico entre las caras de las losas, lo que hace que la losa se vea obligada a curvarse de tal manera que se produce una tensión en la losa generando los esfuerzos.
- Es de destacar que lastemperaturas elevadas son relativamente influyentes en una disminución de la deformación de las esquinas de las losas, porque en la

generación del gradiente máximo de temperatura se observó una diferencia en promedio de 0.91 mm en disminución en las losas, pero se alabearon cuando se disminuyó la temperatura hasta 3.5 °C en una de las losas, una esquina presento un valor considerable de 4.8 mm.

- Las losas de pavimento rígido reaccionan en contracción, dilatación y alabeo, ante la variación de la temperatura, se pudo comprobar que a temperaturas extremas se produce una mayor variación de longitud que es considerable como se aprecia en la tabla 78, donde las losas llegaron a dilatarse casi 5 mm en el instante de una temperatura extrema alta. Cuando desciende bruscamente se contrae también considerablemente pues la losa dos primero se calentó y luego se enfrió dando una contracción de 3.8 mm, para una temperatura mínima extrema. De tal manera los extremos de temperatura afectan al alabeo produciendo en las esquinas deformaciones con valores de la tabla 75, mismos que son elevados y de someterse la losa a varios de estos cambios extremos podrían deteriorarse rápidamente.
- *Tabla 78: Contracción y dilatación, alabeo presentados ante gradientes máximos.*

LOSA	GRADIENTE TÉRMICO	ALABEO EN LA ESUINA				$\Delta L$
		1	2	3	4	
1	°C	mm	mm	mm	mm	mm
	56,6	2,9	3	4	3	4
2	°C	mm	mm	mm	mm	mm
	- 50,5	2,45	3,4	3,6	3,3	3,8
3	°C	mm	mm	mm	mm	mm
	59,5	3,7	3,8	4,8	3,8	4,2

## 5.1. Conclusiones

- Los esfuerzos que más afectan al pavimento rígido son los debidos a cargas y los esfuerzos por temperatura que se estudian de forma independiente cada uno, el análisis se inclinó solamente a los esfuerzos por temperatura porque son los que mayor incidencia en afectar la resistencia a tracción (es mucho menor que la resistencia a compresión) del pavimento generan y que si los esfuerzos por temperatura llegarían a superar la resistencia a tracción se producirían grietas y fisuras que afectan en un grado importante al pavimento porque con estos problemas, no tiene el mismo funcionamiento para soportar las cargas de tráfico y en consecuencia se deteriora rápidamente.
- Se caracterizaron los materiales para el hormigón determinando su granulometría, peso específico y % de absorción, datos que fueron óptimos para la dosificación del hormigón destinado al vaciado de las losas de prueba, en las que se analizó su comportamiento ante los esfuerzos provocados por la variación de la temperatura.
- Los efectos del pavimento rígido ante la variación de la temperatura son tres, la contracción y la dilatación en los lados de las losas del pavimento rígido y el alabeo en las esquinas de las losas de pavimento rígido; la contracción y la dilatación se presentan en la longitud y ancho de las losas generando esfuerzos de tensión y compresión que dejan como consecuencias variaciones de longitud en las dimensiones de las losas, mismas que están en constante cambio porque si durante el mediodía se dilataron, en la noche ocurre lo contrario se contraen contrarrestando la deformación de longitud que sufrió en el mediodía; en cuanto al alabeo que se produce en las esquinas, se dio porque el gradiente negativo entre la cara superior y la cara inferior de la losa somete a la losa a compresión a la mitad superior y a tracción a la mitad inferior

dejando como consecuencia deformaciones de elevación de las esquinas de las losas.

- Las temperaturas en las caras superiores e inferiores de cada una de las losas en los puntos que se concluye fueron los más críticos, el centro, borde y esquina de las losas, porque la cara superior por el mediodía adquiere mayor temperatura, mientras la cara inferior presenta menor temperatura y lo contrario ocurre en la noche y la madrugada, donde la cara superior de la losa presenta menor temperatura que la inferior, generando gradientes de temperatura que someten a la losas a tensiones de compresión y tracción que se deducen en esfuerzos donde los puntos que soportan más tensión son el centro, borde y esquina por lo que en éstos se pueden presentar las fisuras y grietas, fallas que afectan al pavimento rígido.
- Mientras varía la temperatura del ambiente varía la temperatura de las losas, afectando sus longitudes y provocando esfuerzos que dejan como resultado deformaciones permanentes y variantes, por tanto es la que al calentar y enfriar a la losa de pavimento rígido le provoca una reacción que declina en esfuerzos y deformaciones desestabilizando su resistencia a la tracción y peor aun dejando deterioros que ya no permiten un óptimo trabajo en su desempeño como obra vial de servicio a la población.
- Analizando de dos formas en lo que se respecta al día y la noche; y en la losa, ocurren dos diferenciales térmicos el positivo y el negativo, ambos gradientes térmicos se presentan en las losas de diferente manera, se habla de un gradiente que ocurre entre la noche y el día y viceversa, donde es negativo cuando la temperatura en la losa desciende del mediodía a la noche, y sigue en descenso hasta la madrugada y en horas de alrededor de las 6 u 7 am según

sea la estación del año comienza un gradiente positivo porque asciende la temperatura hasta por alrededor del mediodía y cuando pasa el calentamiento se produce nuevamente el descenso de la temperatura en la losa y este gradiente es el que provoca las contracciones y dilataciones que el pavimento sufre durante su vida útil. El gradiente térmico segundo del que se habla está íntimamente ligado al primero, porque los dos son los que se producen con la temperatura y actúan sobre las losas de pavimento rígido, este segundo se presenta entre la cara superior y la cara inferior de la losa cuando la losa se enfría o se calienta en su superficie y que por el espesor de la losa no presenta un temperatura uniforme en todo el cuerpo de la losa sino un gradiente térmico que de acuerdo a la temperatura que presenta la losa puede ser positivo o negativo, es positivo cuando la losa se calienta en la superficie y negativo cuando ésta se enfría.

- Como ya se dijo anteriormente al cambiar la temperatura ambiente durante el día también cambia la temperatura del pavimento, este ciclo térmico crea un gradiente en la losa que dependiendo de la hora del día deforma a la losa de forma cóncava o convexa, pero esta última es la más notable porque el peso propio y la base de apoyo de la losa se suman al esfuerzo que se produce por el gradiente negativo mientras que al producido por el gradiente positivo lo contrarrestan, es por esto que se alabea las losas en las esquinas.
- El alabeo en el pavimento rígido se produce por el gradiente térmico ya explicado, pero esta deformación no es dependiente de la longitud y ancho de las losas porque si bien los alabeos fueron hasta el día de la medición de entre 2.1 y 2.4 mm fueron diferentes en las esquinas y en las tres losas que tienen las mismas dimensiones. El alabeo no disminuye cuando las losas adquieren mayor rigidez ante la edad, sino que sigue reaccionando ante la variación de temperatura.

- La contracción en el pavimento rígido ocurre ante el descenso de la temperatura que mientras mayor sea su descenso mayor disminución de longitud sufre y por lo tanto el diferencial de longitud entre la longitud inicial al descenso de temperatura presentada y la que va presentando cuando va bajando la temperatura va en aumento. El esfuerzo de contracción al que se ve sometido la losa de pavimento rígido provoca una reacción que resulta en la pérdida de la longitud de las losas.
  
- La dilatación se presenta en la losas de los pavimentos rígidos, cuando la temperatura ambiente asciende calentando a las losas y provocando que éstas aumenten en longitud y ancho, variación de longitud que mientras mayor sea la temperatura mayor será el cambio de longitud que la losa sufra. Este esfuerzo de dilatación acciona en las losas de pavimento rígido dejando como consecuencia un aumento de longitud en su ancho y largo.
  
- Los extremos de temperatura provocan mayor deformación en las losas de pavimento rígido, porque se generan mayores gradientes térmicos y por tanto mayores esfuerzos de tracción y contracción:
  - La contracción cuando se generó artificialmente el mayor gradiente térmico fue de 3.8 mm. Valor considerable que indujo a mayores esfuerzos en las losas, resultando en la deformación mencionada y por tanto se deduce que mientras mayor sea el gradiente térmico en descenso, mayor será la deformación que la losa sufra y por tanto mayor el riesgo que los esfuerzos superen la resistencia a tracción.
  
  - La dilatación cuando se calentó la losa fue de 4.2 mm ante el mayor gradiente térmico, tal valor es muy significativo y se deduce que la

losa estuvo sometida a un mayor esfuerzo de tracción que dejó como resultado esa deformación.

- El alabeo que se produjo cuando se enfrió la losa fue mayor de hasta 4.8 mm en una de las esquinas de las losas, deformación que es considerable; y el gradiente entre las caras de las losas fue también mucho mayor lo que hace analizar que mientras mayor sea la variación de la temperatura mayor será el gradiente entre las caras de la losa generando mayores esfuerzos de alabeo y por tanto dejando consecuencias de mayor deformación en las esquinas. Y si bien cuando se calentó la losa el alabeo en las esquinas disminuyó en 1.1 mm la deformación sigue en ascenso cuando la losa vuelva a sufrir enfriamiento como el anterior o incluso mayor porque las temperaturas en las diferentes partes del mundo llegan a bajar a varios grados bajo 0.

- Los esfuerzos por temperatura pueden ser incluso más nocivos que los por carga porque las consecuencias que traen son grietas y fisuras en el pavimento rígido, fallas que interrumpen el buen funcionamiento del pavimento y lo malogran dejándolo sensible ante el paso de cargas de tráfico y por lo tanto se convierte en una obra vial de mal aspecto y mal funcionamiento.
- La investigación del comportamiento del pavimento rígido ante la variación de la temperatura deja resultados que deben ser tomados en cuenta para que se planteen mejores diseños donde se incluyan estos esfuerzos, que en lo futuro podrían desarrollarse agentes modificantes que al adherirlos al hormigón este conjunto sea capaz de soportar estos esfuerzos y evitando las deformaciones y garantizando así la vida útil del pavimento rígido de concreto simple.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda establecer un control exhaustivo de la limpieza de los materiales para la elaboración del hormigón, es fundamental para que éste adquiera las propiedades adecuadas, y no sea un problema más a plantearse en el momento que la losa sea sometida a los esfuerzos por variación de temperatura.
- En vista de los resultados obtenidos, se recomienda considerar los esfuerzos debidos a la variación de la temperatura en el diseño de los pavimentos rígidos, porque mientras mayor sea la variación de la temperatura mayor son los esfuerzos. Una solución temprana al problema, para la disminución de los esfuerzos por temperatura, se recomienda en el momento de optar por la elección de un pavimento rígido.
- Se recomienda realizar el estudio en condiciones similares a las que está expuesto un pavimento rígido, porque es en ese ambiente en el que sufre los mayores efectos por acción de la temperatura y otros factores ambientales como la humedad.
- Se recomienda usar material especial para el acabado del pavimento rígido para no tropezar con problemas de relieve en el momento de tomar las mediciones y además dejar un buen texturizado para no tener problemas de relieve en el momento de que un pavimento sea puesto en servicio.
- Se recomienda usar instrumentos de buena precisión en el momento de tomar datos de medición de temperatura y en especial de contracciones, dilataciones y alabeo pues varían desde valores menores al milímetro hasta centímetros en el transcurso de su vida útil.

- Se recomienda realizar un buen encajonado para el hormigón de las losas para que no sufran sangrados y debiliten la resistencia objeto del proyecto, porque en ese sangrado se pierden las partículas del cemento, material adherente.
- Se recomienda usar un equipo adecuado para levantar las losas de pavimento rígido si se quiere conocer el comportamiento en la cara inferior de la losa de pavimento, pues no deben sufrir fisuras inesperadas que interrumpen el proceso de investigación.
- Se recomienda independizar los estudios de la contracción por secado y dilatación por humedad y otros factores para analizar la influencia y el comportamiento que presenta en el pavimento rígido y su relación con los esfuerzos por variación de temperatura.
- Debido a la magnitud de las losas de pavimento rígido se recomienda usar hormigoneras o equipos que dejen como resultado un buen mezclado de los materiales del hormigón y equipos de vibrado mecánico que compacten los materiales sin dejar vacíos interiores que afecten la resistencia del pavimento.
- La investigación muestra resultados referidos al lugar de Tarija, por las condiciones de temperatura se tomaron las mediciones en tres horarios inicio de la mañana, al medio día y en la noche, pero se recomienda que de acuerdo al lugar de ubicación de la investigación sean escogidos los horarios de acuerdo a la variación de temperatura que se presenta en el lugar.
- Se recomienda que dependiendo de la variación de temperatura del lugar donde se opte por construir un pavimento rígido, se escoja el tipo de hormigón que sea capaz de resistir las variaciones de temperatura del lugar.

- Se recomienda realizar una investigación que por medio de aditivos u otro material se logre una acción de barrera ante la acción de la temperatura en el pavimento rígido y sea capaz de impedir los esfuerzos que se generan por su variación.
- Se recomienda que se tome en cuenta en especial para pavimentos de concreto simple los esfuerzos de alabeo cuando se determine el espesor del pavimento rígido pues este espesor sólo considera las cargas, dejando de lado el alabeo.
- Se recomienda que el material de sellado de juntas cuando se construya pavimento rígido, sea capaz de soportar sin despegarse del concreto los movimientos que se generan por la contracción y la dilatación, pues a altas variaciones térmicas las deformaciones son considerables.