

Máxima longitud sin juntas en edificios en concreto reforzado

Hernán Darío Agredo Chávez

Proyecto de grado para optar al título de Especialista en Estructuras

Director

Ing. Edison Osorio Bustamante

Phd en Ingeniería Estructural

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Especialización en Estructuras

Bucaramanga

2017

Dedicatoria

Este proyecto de investigación se lo dedico a Dios todo poderoso, que con su infinito amor me ha dado salud, bienestar y la sabiduría necesaria para finalizar mi proyecto de grado.

A mis padres Hernán Agredo Acevedo, Raquel Chávez Suarez, y mi hermana Angélica María Agredo; por brindarme cariño, amor y apoyo incondicional para seguir siempre adelante y nunca rendirme. Por otorgarme una educación de calidad, basada en el respeto, la honestidad y la humildad.

A mi familia, amigos y profesores; por estar presente de una u otra forma brindándome ánimo y bendiciones para lograr mis objetivos.

Después de más de un año de trabajo duro, constante y dedicado, he alcanzado mi meta. Los amo con todo mi corazón y el fruto cosechado de este gran esfuerzo se los dedico a ustedes.

Hernán Darío Agredo Chávez

Agradecimientos

Gracias a Dios por iluminarme y guiarme durante mi paso en la especialización de estructuras de la Universidad Industrial de Santander, el cual estuvo lleno de experiencias enriquecedoras, bendiciones y personas maravillosas. Gracias a Dios, he finalizado una de las etapas más maravillosas e importantes de mi vida profesional y he podido alcanzar la meta de ser ingeniero civil especialista en estructuras.

Gracias a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una formación académica posgrado con profesores reconocidos de alto nivel y prestigio.

Gracias a mi padre Hernán Agredo Acevedo, a mi madre Raquel Chávez Suarez, y a mi hermana Angélica María Agredo Chávez por sus consejos, apoyo emocional y amor sin igual.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Generalidades del proyecto.....	15
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo General.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 Justificación	15
1.3 Alcance (Limitaciones).....	16
1.4 Organización del Documento	16
2. Marco Teórico.....	17
2.1 Elementos que conforman el concreto	17
2.1.1 Cemento	17
2.1.1.1 Clasificación del cemento	17
2.1.2 Agregado.....	19
2.1.3 Agua	19
2.1.3.1 Tipos de agu.....	20
2.2 Concreto.....	22
2.3 Reología del concreto	24
2.3.1 Retracción del concreto (Shrinkage):.....	24

2.3.1.1 Retracción por secado	25
2.3.1.2 Retracción autógena o química	25
2.3.1.3 Retracción por carbonatación	25
2.3.1.4 Retracción plástica	25
2.3.2 Fluencia del concreto (creep).....	29
2.3.2.1 Fluencia básica.....	29
2.3.2.2 Fluencia por secado.....	29
2.3.3 Expansión y contracción térmica	32
2.4 Juntas.....	32
2.4.1 Juntas de construcción	34
2.4.1.1 Construcción de la junta.....	34
2.4.1.2 Localización de las juntas	35
2.4.2 Juntas de contracción	38
2.4.2.1 Construcción de la junta.....	38
2.4.2.2 Localización de las juntas	39
2.4.3 Juntas de expansión, de aislamiento o de isolación.	42
3. Metodología	45
3.1 Método de la regla general.....	45
3.2 Método de Martin y Acosta (1970).....	46
3.3 Recomendaciones de la academia nacional de ciencias (National Academy of Science)	50
3.3.1 Método Aproximado.....	51
3.3.1.1 Dimensionamiento de la junta de expansión por el método aproximado.	54
3.3.2 Método analítico	55

3.3.2.1 Dimensionamiento de la junta de expansión por el método analítico	57
3.3.2.2 Método de la regla general.....	60
3.3.2.3 Método aproximado de National Academy of Science (NAS):.....	61
3.3.2.4 Método analítico de National Academy of Science (NAS):.....	62
4. Conclusiones	77
Referencias Bibliográficas	79

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del agua en la pasta de cemento.	21
Figura 2. Retracción del concreto en el tiempo.	26
Figura 3. Junta llena y junta con llave premoldada.	36
Figura 4. Junta de construcción mal construida.	37
Figura 5. Junta de construcción mal construida.	37
Figura 6. Junta de contracción parcial.	39
Figura 7. Localización de juntas de contracción en edificios recomendado por la PCA.	41
Figura 8. Detalle de junta de expansión.	43
Figura 9. Juntas de expansión circulares y cuadradas en columnas.	44
Figura 10. Fisuras en esquinas reentrantes.	44
Figura 11. Máxima longitud permitida para usar juntas de expansión.	52
Figura 12. Máxima longitud permitida para usa juntas de expansión según la SCSE.	53
Figura 13. Longitud de junta de expansión entre dos segmentos contiguos.	57
Figura 14. Sección típica plano en planta paño esquinero.	59
Figura 15. Restricción de movimientos horizontales debido a la rigidez.	62
Figura 16. Localización de la junta de expansión.	63
Figura 17. Modelamiento de la estructura en el programa SAP2000.	66
Figura 18. Patrones de carga en SAP2000.	66

Figura 19. Ingreso de combinaciones de carga en SAP2000.....	68
Figura 20. Ingreso de cambio de temperatura en elementos frame.	68
Figura 21. Ingreso de cambio de temperatura en elementos shell.	69
Figura 22. Ingreso de datos correspondientes a la retracción y a la fluencia.....	70
Figura 23. Desplazamientos máximos para cada combinación de carga.....	71
Figura 24. Esfuerzos máximos y mínimos del elemento shell.....	71
Figura 25. Datos iniciales para el cálculo de la retracción en el concreto.	73
Figura 26. Retracción en el concreto para determinados días.	74
Figura 27. Grafica días vs retracción.	74
Figura 28. Datos iniciales para el cálculo de la fluencia en el concreto.	75
Figura 29. Fluencia del concreto para determinados días.....	75
Figura 30. Grafica días vs fluencia.	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factor de corrección promedio de elementos estructurales.	28
Tabla 2. Relación de valores de fluencia y retracción en el tiempo.	32
Tabla 3. Espaciamiento de las juntas de contracción.	40
Tabla 4. Espaciamientos de juntas de expansión recomendadas por diversos autores.	46
Tabla 5. Referencias de valores de máxima y mínima temperatura usadas por Martin y Acosta	48
Tabla 6. Referencias de valores de máxima y mínima temperatura.	49

Resumen

Título: Máxima longitud sin juntas en edificios en concreto reforzado*

Autor(es): Hernán Darío Agredo Chávez**

Palabras clave: juntas de Construcción, Juntas de Expansión, Juntas de Contracción, Concreto, Longitud Juntas, Construcción, Cambios Temperatura, Estructuras.

Descripción

El concreto es el material más usado para la construcción, ya que presenta grandes resistencias a la compresión, es moldeable en su estado plástico permitiéndole adoptar cualquier tipo de figura usando moldes o formaleta, y combinado con otros materiales puede adquirir nuevas propiedades para formar un material de mayor calidad y mejor comportamiento ante las sollicitaciones de la estructura. Este material usado a nivel mundial no solo posee ventajas, también posee desventajas como su susceptibilidad ante los diferentes cambios de temperatura al que pueda estar sometido, siendo este problema uno de los principales temas tratados en la presente monografía.

El concreto puede presentar fisuras y cambios volumétricos debido a la variación de la temperatura ambiente, causando una sensación de inseguridad además de una mala apariencia y estética al edificio e incremento de los costos de mantenimiento. Existen diferentes métodos para reducir el número de fisuras en elementos de concreto como el uso de juntas construcción, juntas de contracción, juntas de expansión o construir el elemento sin usarlas. La presente monografía está centrada en identificar y recopilar los criterios necesarios para fundir elementos de concreto sin usar juntas basado en estudios y publicaciones realizadas por investigadores e ingenieros expertos en el tema.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería civil, especialización en Estructuras Director: Edison Osorio Bustamante

Abstract

Title: Maximun length witout joints in reinforced concrete building*

author(s): Hernán Darío Agredo Chávez**

Key Words: Construction Joints, Expansion Joints, Contraction Joints, Concrete, Length Joints, Construction, Temperature Changes, Cracks in Concrete, Estructures.

Description

Concrete is the material more used for construction, as represent greats compressive strengths, is moldable in its plastic state to allowed take any type of form using molds or framework, and combine with others materials can acquire new properties to form a higher quality material and best behavior under load requirements that can suffer structure. This material used at worldwide not only have advantages, too have disadvantages like his susceptibility against to different temperature changes to can be submitted the structure, being this problem one of the main topics discussed in the present monograph.

This material present cracks and volumetric changes due to the sh ift in environment temperature, giving to people a feeling of insecurity besides a bad appearance and aesthetics to the building, and increase the maintenance cost. Exist differents methods to reduce the number of cracks in concrete f rames like the use of construction joints, contraction joints, expansión joints or build the element without them. The present monograph is focused in identify and collect the criteries necessary to cast concrete elements without use joints in base to research and publishme nts carried out by researchers and expert engineers that has been studying the topic by years.

* Project of grade

** Faculty of Engineering Physical Mechanical. School of Engineering Civil. Specialization Structures Director Edison Osorio Bustamante

Introducción

El concreto es el material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su extraordinaria versatilidad en cuanto a forma (se puede moldear), función (uso estructural y no estructural) y economía; además, proporciona versatilidad y resistencia ante esfuerzos de compresión. En consecuencia, se han construido grandes estructuras a través de la historia como rascacielos, importantes autopistas, terminales de transporte, presas, e incluso grandes estructuras emblemáticas como la torre inclinada de pisa o el rascacielos Burj Khalifa.

El concreto es un material que posee un comportamiento variable en su estado plástico, porque depende de las condiciones ambientales al que esté expuesto, de la calidad y proporciones de los materiales del cual está constituido. El fraguado es el proceso mediante el cual el concreto pasa de su estado plástico a un estado sólido, el cual es resistente y capaz de soportar las cargas solicitadas.

El ser humano cada día está en constante evolución, avanzando y desarrollando nuevas técnicas y formas para mejorar la calidad de vida. Las ciudades están en constante crecimiento, por lo tanto, las estructuras como centros comerciales, puentes, aeropuertos, viviendas, entre otras, deben ser más grandes para cumplir con la demanda de crecimiento de los ciudadanos e impulsar el desarrollo y la economía de las ciudades. Pero las grandes construcciones poseen superficies muy grandes, las cuales están expuestas a fraguados rápidos durante el proceso de fundida del elemento, produciendo fisuras (dilataciones) y generando la necesidad de construir juntas de dilatación para controlar dichas fisuras.

1. Generalidades del proyecto

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General. Elaborar el estado del conocimiento acerca de la máxima longitud posible en edificios de concreto reforzado sin necesidad de usar juntas de dilatación.

1.1.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los tipos de juntas de uso más común y sus funciones en edificaciones de concreto reforzado.
- Enunciar los criterios necesarios para la construcción de edificios sin juntas de dilatación.

1.2 Justificación

El concreto (hormigón) se expande y se contrae con los cambios de humedad y de temperatura. La tendencia general es a contraerse causando el agrietamiento a edad temprana. Cuando se construye una edificación de concreto, con frecuencia es necesario fundir grandes áreas y muchas veces se funde durante horarios de alta temperatura, lo cual afecta las propiedades térmicas del concreto y comience a fraguar rápidamente y como consecuencia se necesitará el uso de una junta de construcción para controlar las grietas. Para evitar lo mencionado, es necesario conocer previo a

la fundida una longitud máxima del elemento a fundir para evitar construir juntas de construcción y esta longitud dependerá de los cambios de temperatura en el momento de la fundida.

Las grandes construcciones como viaductos, deprimidos, puentes, entre otros; impulsan el desarrollo económico y urbano de las ciudades, pero poseen grandes extensiones de área a construir lo que dificulta el control de fisuras y muchas veces en obra se observa que los ingenieros no poseen conocimiento alguno sobre el tema y como resultado toman decisiones inadecuadas ante la problemática que puede afectar la vida útil de la construcción. Por este motivo, es necesario establecer los conceptos y criterios que hay que tener en cuenta para construir grandes áreas sin necesidad de usar juntas de construcción.

1.3 Alcance (Limitaciones)

Se realizarán las actividades necesarias de consulta de material bibliográfico como: revistas científicas, base de datos, artículos científicos y libros especializados en el tema. El alcance se enfoca en establecer el estado del conocimiento en edificios de concreto y brindar criterios útiles que sirva como apoyo para los ingenieros en general.

1.4 Organización del Documento

El proyecto de grado presentado a continuación se encuentra organizado en distintas secciones o capítulos. El capítulo 1, denominado introducción, contiene todo lo referente a los objetivos planteados, la justificación de la monografía, y el alcance. En el capítulo 2, denominado marco teórico, se establecen los conceptos y aspectos fundamentales que se trataron en el desarrollo del

proyecto. En el capítulo 3, conocido como metodología, se presenta el procedimiento empleado para el desarrollo del proyecto. El capítulo 4, conclusiones, se presentan las conclusiones pertinentes a la investigación. Finalmente, el capítulo 7, referencias bibliográficas, expone la bibliografía consultada.

2. Marco Teórico

2.1 Elementos que conforman el concreto

2.1.1 Cemento El cemento es el ingrediente principal del concreto y el material que le da su propiedad adhesiva. Es un polvo fino gris resultado de un proceso de transformación de calizas y arcillas sometidas a altas temperaturas. El tipo más usado es el cemento Portland hidráulico, llamado así por su semejanza con una piedra de la isla de Portland (Gran Bretaña) empleada en construcción. La fabricación del cemento se puede resumir en los siguientes pasos: obtención de la materia prima, trituración preliminar de la materia prima, eliminación de humedad, homogeneización de las materias primas, cocción y clinkerización, molienda del Clinker, integración del yeso y finalmente distribución (Guzman, 1996, p.28).

2.1.1.1 Clasificación del cemento El cemento portland se clasifica de la siguiente manera (ASTM INTERNATIONAL, ASTM C150/C150M-17. 2017. p.1):

- **Cemento portland tipo 1, tipo 1-A**

Estos tipos de cementos portland son los usados en obras de concreto. La diferencia radica en sus propiedades. El cemento portland tipo 1 no se le exigen propiedades especiales, es el cemento normal. El tipo 1-A posee el mismo uso que el cemento tipo 1 pero el contenido de aire es deseado.

- **Cemento portland tipo 2, tipo 2-A, tipo 2 (MH), tipo 2 (MH)A.**

El tipo 2, tiene propiedades especiales, ya que los elementos de concreto estarán expuestas a sulfatos y se desea una mayor resistencia, como es el caso de las estructuras localizadas en las zonas costeras, donde son susceptibles a ataques de sulfatos y se desea una mayor resistencia a estos. El cemento tipo 2-A posee el mismo uso que el tipo 2, pero el contenido de aire es deseado. El cemento tipo 2 (MH) se usa en obras donde se necesita calor de hidratación moderado y resistencia a los sulfatos. Si este calor de hidratación no es moderado y no se controla, el calor generado por la reacción entre el agua y el cemento no se disipa rápidamente y puede ocurrir un aumento considerable de la temperatura del concreto. Este aumento de temperatura puede ser indeseable, ya que después del endurecimiento a altas temperaturas, el enfriamiento no uniforme de la masa de concreto hasta la temperatura ambiente puede crear tensiones de tracción (esfuerzos de tensión) indeseables. El cemento tipo 2 (MH)A posee el mismo uso del cemento tipo 2 (MH) pero el contenido de aire es controlado y deseado.

- **Cemento portland tipo 3 y tipo 3-A**

Este cemento se usa en estructuras donde se necesita altas resistencias iniciales, en estructuras cuyo uso y funcionamiento debe iniciar lo más pronto posible, como en el caso de carreteras y autopistas, o cuando es necesario retirar encofrados lo más pronto posible. También existe una variación llamada cemento portland tipo 3-A, y como los demás, el contenido de aire es controlado y deseado.

- **Cemento portland tipo 4**

Este cemento desarrolla bajo calor de hidratación. Se usan en estructuras de concreto masivos, tales como las presas.

- **Cemento portland tipo 5**

Ofrece una alta resistencia ante ataques de sulfatos. Este cemento es usado generalmente en estructuras marinas. Posee el mismo uso del cemento tipo 2, pero la resistencia que ofrece ante ataques de sulfatos es mayor.

2.1.2 Agregado. Los agregados son aquellos materiales inertes, de forma granular, que mezclados con el cemento portland en presencia de agua, conforman el concreto. Los agregados se dividen en 2 grupos, agregados finos y agregados gruesos. El agregado fino es aquel que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200). Por el contrario, los agregados gruesos o también llamados gravas o rocas, son aquellos áridos que no pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y son retenidos en ella (ASTM INTERNATIONAL, ASTM C125 -16. 2016. p.2).

2.1.3 Agua El agua necesaria para la producción de concreto debe ser limpia, y libre de sustancias nocivas, contaminantes, sedimentos, aceites, azúcares o químicos que puedan afectar la resistencia y el fraguado del cemento. Dada la necesidad de hidratar al cemento, es la cantidad de agua con relación a la cantidad de cemento la cifra clave para determinar la calidad del concreto que se obtiene medido en peso, ya que el agregar agua adicional a la mezcla diluye la pasta y la debilita (Parra y Bautista, 2010).

2.1.3.1 Tipos de agua El cemento sufre reacciones químicas cuando se mezcla con el agua, proporcionándole la capacidad de fraguar o endurecer para formar una masa sólida junto con los agregados. El agua presenta distintas formas cuando se mezcla con el cemento. Estas formas o estados se clasifican en agua de mezclado y agua de curado (Guzman, 1996, p.57).

- **Agua de mezclado:** Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, para que se hidraten las partículas del cemento y proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco, de esta forma se crea una pasta eficientemente hidratada. Una vez que se forma la pasta, el agua se encuentra en dos formas: agua de hidratación (no evaporable), y agua evaporable.
- **Agua de hidratación:** Es el agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para posteriormente ser parte del gel de cemento, que es la forma líquida del concreto cuando se han mezclado los áridos, el cemento y el agua.
- **Agua evaporable:** Es el agua restante que existe en la pasta y puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y 110 °C libre en su totalidad. El agua de hidratación posee 3 formas distintas, dependiendo de la cercanía a la superficie del gel de cemento.
 - **Agua de absorción:** Capa de agua que se encuentra a una superficie de 0 a 30 Å (un Å= 0.0000001 mm) de la superficie del gel de cemento.
 - **Agua capilar:** Es el agua que se encuentra en los poros del gel del cemento y generalmente se encuentra a una distancia de 30 a 10⁷ Å. Interactúa de manera débil, ya que se encuentra más alejada de la superficie del gel de cemento.

- **Agua libre:** Esta capa de agua se encuentra fuera de la influencia e interacción de la superficie del gel de cemento, de tal forma que puede moverse libremente y evaporarse con facilidad.
- **Agua de curado:** Es la cantidad de agua adicional que requiere el concreto una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversas situaciones como: altas temperaturas por estar expuesto al sol o por el calor reinante en los alrededores, alta absorción donde se encuentra colocado el concreto, fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación.

En la Figura 2.1, se puede apreciar el esquema de ubicación del agua en la pasta de cemento

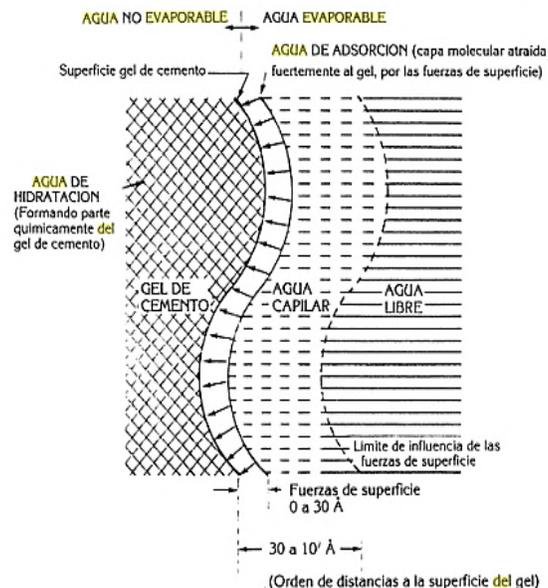


Figura 1. Ubicación del agua en la pasta de cemento.

Fuente: Sanchez de Guzman, D. (s. f.) Tecnología y propiedades del concreto. Tercera edición.

Capítulo 2. P. 58.

2.2 Concreto

El concreto es un material que resulta de la mezcla de diferentes elementos, los cuales son: agregado fino, agregado grueso, cemento, y agua. Cuando a la mezcla de mortero se le agrega gravas de gran tamaño cuyo diámetro es de 20 cm o más, forma un nuevo material llamado concreto de agregado precolocado o comúnmente conocido como concreto ciclópeo (Guzman, 1996, p.57).

Es el material más usado en el mundo para la construcción de cualquier infraestructura, ya sea pública o privada. Generalmente es usado en estructuras de concreto armado, el cual son estructuras de concreto donde se usa acero de refuerzo. Al emplear acero de refuerzo, el concreto no solo soportara esfuerzos a compresión debido a las características propias del concreto, sino que también puede soportar los esfuerzos a tensión gracias al uso del acero en su composición. Su extraordinaria versatilidad en cuanto a las formas que se pueden obtener, sus propiedades físicas y mecánicas para ser usado como elemento estructural, y su economía; son razones que lo hacen muy competente frente a construcciones de madera, mampostería o acero. El concreto presenta dos estados de la materia: concreto fresco y concreto endurecido. El concreto fresco está representado por su fase líquida y es fácilmente moldeable; mientras el estado endurecido, es su forma sólida. A continuación, se verán con más detalle las propiedades de cada fase.

El concreto en sus diferentes estados presenta propiedades particulares, las cuales hacen que el concreto sea uno de los materiales predilectos para la construcción. En el estado fresco, la manejabilidad, la consistencia y la plasticidad son esenciales, ya que la manejabilidad determina la capacidad de ser colocado y compactado debidamente para que no se presente segregación; la

consistencia permite conocer el estado de fluidez del concreto (si está muy dura o muy fluida) y la plasticidad permite conocer que tan moldeable es la mezcla de concreto.

En el estado endurecido, son varias las propiedades que el concreto adquiere. Algunas de ellas son: elasticidad, resistencia, y durabilidad. La elasticidad permite que el concreto sufra deformaciones reversibles sin sobrepasar su límite elástico, la resistencia es la capacidad que posee el concreto para soportar cargas y esfuerzos tanto de compresión (la cual es su característica principal) como de tracción (cuando se usa refuerzo), y la durabilidad que es la capacidad de resistir la acción del medio ambiente permitiendo que su vida útil sea larga y duradera.

Son varios los factores que influyen en la longitud entre juntas de expansión como lo son: el tipo de concreto, el uso de aditivos para reducir la relación agua/cemento (llamados aditivos superplastificantes), y la rigidez del elemento estructural. Actualmente existe un tipo de concreto llamado: concreto de contracción compensada (C.C.C), los cuales están hechos a base de cementos expansivos o aditivos que proveen esta expansión inicial que busca contrarrestar la fisuración debida a la contracción por secado del concreto. El volumen de este tipo de concreto después del fraguado a edades tempranas, como resultado de esta expansión se presenta una tensión en el refuerzo y la compresión en el concreto. Después del secado, la contracción, en lugar de causar esfuerzo de tracción que se traduce en grietas, alivia la compresión causada por la expansión inicial (Gracia & Quesada, 2012, p.17). El uso de este tipo de concreto aumenta la distancia entre juntas permitiendo fundir grandes extensiones sin que se presente fisuras significativas.

El efecto expansivo es logrado con diferentes tipos de componentes como los cementos expansivos tipo K, tipo M, tipo S; los cuales a diferencia del cemento portland, se expanden durante el período de hidratación temprana después del fraguado. Según la ACI 223R-10 “Guide

for the use of shrinkage-compensating concrete” el cemento expansivo se clasifica en (Madrid Zuluaga, 2014, p.14):

- Cemento expansivo tipo K: Es una mezcla de cemento portland, sulfato tetracálcico trialuminato anhidro (C4A3S), sulfato de calcio (CaSO₄), y cal viva (CaO); el C4A3S es un constituyente de un clínker quemado por separado que luego es mezclado con cemento portland.
- Cemento expansivo tipo M: Es una mezcla de cemento portland, cemento aluminoso, y sulfato de calcio convenientemente proporcionado.
- Cemento expansivo, tipo S: Es un cemento portland con un alto contenido de aluminato tricálcico (C3A) y un contenido de sulfato de calcio por encima de lo que se encuentra comúnmente en el cemento portland.

2.3 Reología del concreto

La reología del concreto es el estudio y análisis de las deformaciones diferidas o no instantáneas que se producen en este material. Las deformaciones diferidas son aquellos eventos o fenómenos que se presentan en el concreto el cual afectan al material durante un periodo de tiempo como lo son: la retracción (shrinkage), la fluencia (creep), y los cambios de temperatura.

2.3.1 Retracción del concreto (Shrinkage) La retracción es un fenómeno provocado por la pérdida de humedad del hormigón en estado fresco o endurecido ocasionando disminución en el volumen del elemento de concreto en el tiempo. Existen diferentes tipos de retracción:

2.3.1.1 Retracción por secado La retracción por secado es la más predominante y se presenta debido a la pérdida de humedad en el concreto cuando existe cambios de temperatura entre la estructura y el ambiente. (David Fanella, 2016, p. 36).

2.3.1.2 Retracción autógena o química La retracción autógena se presenta debido a la reacción de hidratación que existe dentro de la matriz del cemento. Normalmente no se tiene en cuenta, excepto para mezclas de concreto de altas resistencias donde la relación agua/cemento es menor a 0.4. (David Fanella, 2016, p. 36).

2.3.1.3 Retracción por carbonatación Se presenta por la reacción del hidróxido de calcio que hay dentro de la matriz del cemento con el dióxido de carbono presente en el ambiente. Este tipo de retracción puede llegar a ser igual de importante que la retracción por secado bajo ciertas condiciones ambientales. (David Fanella, 2016, p. 36).

2.3.1.4 Retracción plástica Es la pérdida de agua superficial del concreto en su estado fresco pasando de una superficie brillante a una superficie de color mate. (Germán Hermida; Jaime Gonzales; Alejandro Romero, p.2.).

El tipo retracción tratado en el presente proyecto de grado es la retracción por secado. Algunos factores que influyen en la retracción por secado son los siguientes:

- El contenido de agregado. Aunque la retracción se produce en la pasta, la presencia del agregado actúa como freno a la deformación. Además, a mayor contenido de agregado en el hormigón, menor es el contenido de pasta. Un incremento del volumen del 71% al 74% induce una disminución del 20% en la retracción (Newman y Choo, 2003). En general, a

mayor tamaño máximo y a mayor contenido de agregado grueso respecto su volumen total, menor es el efecto de la retracción. (Alberto Ruiz and Cabello López, p.2).

- Tiempo y tipo de curado. El tiempo de curado no se ha revelado como un factor crítico en la retracción. El empleo de un curado al vapor puede reducir la retracción hasta un 30 % (Attigbe et al., 2002).
- El tamaño de la pieza condiciona la velocidad de desarrollo de la retracción, así como el valor último que ésta alcanza. A mayor tamaño, menor velocidad de retracción; por contra, aumenta el valor último de la retracción. Se asume que la retracción es proporcional al valor inverso de la relación volumen/superficie de la pieza. A igual relación volumen/superficie, la forma de la pieza también condiciona la retracción; bajo esta condición, las piezas en I retraen menos que las piezas cilíndricas. (Alberto Ruiz and Cabello López, p.3).

La deformación causada por la contracción del concreto bajo condiciones ambientales constantes incrementa con el tiempo, como se puede apreciar en la Figura 2.2. teóricamente, la contracción continuara sin terminar y aproximadamente el 50% de la retracción total ocurre dentro del primer mes y aproximadamente el 90% ocurre al año. (David Fanella, 2016, p. 37)

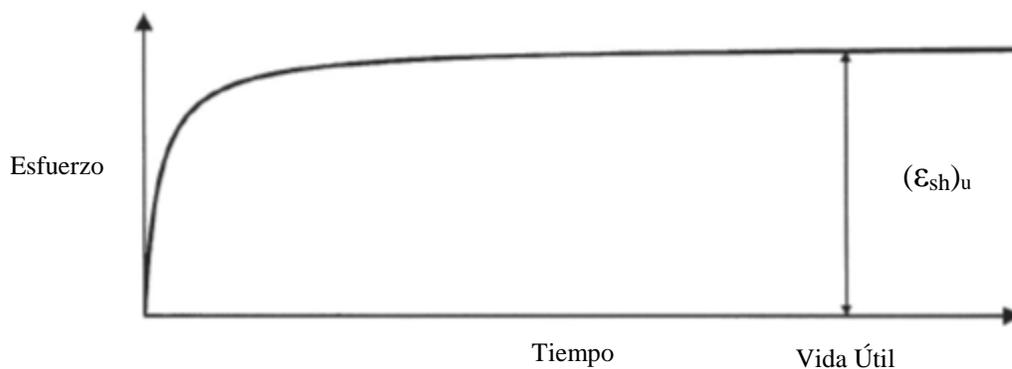


Figura 2. Retracción del concreto en el tiempo.

Fuente: Fanella, D. A. (2016) Reinforced concrete structures: Analysis and design. Second edition. Chapter: materials (McGraw-Hill profesional, Acces engineering. Page 37.

La ACI 209.R-92 recomienda usar la siguiente ecuación para predecir la deformación por retracción en cualquier tiempo t :

$$\varepsilon_{sh}(t) = \frac{t}{35+t} * (\varepsilon_{sh})_u \quad (2-1)$$

Retracción después de 7 días y curado en ambiente húmedo

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{55+t} * (\varepsilon_{sh})_u \quad (2-2)$$

Retracción entre 1-3 días y curado a vapor

t = tiempo en días después de la aplicación de la carga.

$(\varepsilon_{sh})_t$ = deformación de contracción después de t días. Valor adimensional y se mide en in/in o m/m.

$(\varepsilon_{sh})_u$ = deformación de contracción última.

$$(\varepsilon_{sh})_u = 780 Y_{sh} * 10^{-6} \text{ in/in, m/m.} \quad (2-3)$$

Y_{sh} = factor de corrección cuando se tiene en cuenta otras condiciones dentro de la composición de concreto.

$$Y_{sh} = Y_{\lambda} * Y_{vs} * Y_s * Y_p * Y_c * Y_{\alpha} \quad (2-4)$$

Los cuales:

Y_{λ} = factor de corrección por humedad relativa del ambiente, el cual está definido como:

$$Y_{\lambda} = 1.40 - 0.0102\lambda, \text{ para } 40 \leq \lambda \leq 80, \text{ donde } \lambda \text{ es la humedad relativa en porcentaje.} \quad (2-5).$$

$$Y_{\lambda} = 3.00 - 0.0300\lambda, \text{ para } 80 < \lambda \leq 100, \text{ donde } \lambda \text{ es la humedad relativa en porcentaje.} \quad (2-6).$$

Y_{vs} = factor de corrección debido a la relación volumen/superficie (volumen to surface) o espesor del miembro. Existen dos formas de calcular este factor. Usando el método del espesor promedio y el método de la relación volumen/superficie.

- El método del espesor promedio posee dos condiciones, si el elemento posee un espesor menor a 150 mm (6 in), se usa la Tabla 2.1. Si por el contrario es mayor o igual a 150 mm (6 in) hasta 300 o 380 mm (12 a 15 in), se usan las siguientes expresiones.

Tabla 1.

Factor de corrección promedio de elementos estructurales.

FACTOR DE CORRECCION POR ESPESOR PROMEDIO DE ELEMENTOS					
ESPESORES DE ELEMENTOS PROMEDIO		CREEP		SHRINKAGE	
in	mm	<= 1 año	> 1 año	<= 1 año	> 1 año
2	51	1.3	1.3	1.35	1.35
3	76	1.17	1.17	1.25	1.25
4	102	1.11	1.11	1.17	1.17
5	127	1.04	1.04	1.08	1.08

Fuente: Tomado y adaptado de: ACI 209R-92. Page 35

$$Y_{vs} = 1.23 - 0.00025h, \text{ durante el primer año de aplicada la carga, } h \text{ en (mm)}. \quad (2-7)$$

$$Y_{vs} = 1.17 - 0.00114h, \text{ para valores de años superiores, } h \text{ en (mm)}. \quad (2-8)$$

- El método relación volumen-superficie (v/s), se usa cuando el elemento posee un espesor mayor a 380 mm.

$$Y_{vs} = 1.2 \exp(-0.00472 * h), \text{ con } h \text{ en (mm)}. \quad (2-9)$$

Y_s = factor de corrección por asentamiento del concreto

$$Y_s = 0.89 + 0.00161 * S; \text{ donde } S \text{ es en (mm)}. \quad (2-10)$$

Y_p = factor de corrección por porcentaje de agregado fino

$$Y_p = 0.30 + 0.014\rho \text{ donde } \rho \leq 50 \text{ porciento}. \quad (2-11)$$

$$Y_p = 0.90 + 0.002\rho \text{ donde } \rho > 50 \text{ porciento}. \quad (2-12)$$

ρ = relación entre agregado fino y el agregado total por peso expresado en porcentaje (%).

Y_c = factor de corrección por contenido de cemento

$$Y_c = 0.75 + 0.00061 * C; \text{ donde } C \text{ es en (kg/m}^3\text{)}. \quad (2-13)$$

Y_a = factor de corrección por contenido de aire,

$$Y_a = 0.95 + 0.008 * \alpha; \alpha \text{ es el contenido de aire en porcentaje (\%)}. \quad (2-14)$$

Con el uso de las anteriores ecuaciones, se puede saber si el material continúa retrayéndose después de un tiempo determinado, o si el material ha llegado a un punto estable.

2.3.2 Fluencia del concreto (creep) La fluencia es el incremento de la deformación del hormigón dependiente del tiempo bajo la aplicación de una carga constante (Ruiz and lopez, p 3). La fluencia está clasificada en dos tipos: fluencia básica y fluencia por secado.

2.3.2.1 Fluencia básica *La fluencia básica es aquella que se produce a temperatura constante y en condiciones que impidan el secado del material, es decir, condiciones de humedad constante (Ruiz and Lopez, p 5).*

2.3.2.2 Fluencia por secado La fluencia por secado es la fluencia adicional que se produce por el proceso de secado del material (Ruiz and Lopez, p 5).

Algunos factores que influyen en la fluencia del concreto son los siguientes (Ruiz and Lopez, p 3-4):

- A menor porosidad menor es la fluencia. La relación agua/cemento está relacionada con la porosidad; así, al reducir la relación a/c para un mismo volumen de pasta, se logra una reducción de la porosidad, y por ende una rebaja de la fluencia.

- Tipo de cemento. Su efecto sobre la fluencia está vinculado a su incidencia sobre la resistencia del hormigón.
- La humedad relativa es, como en el caso de la retracción, un factor importante. Su disminución provoca un incremento de la deformación por fluencia.
- Tamaño y forma de la pieza. En condiciones de secado, la fluencia es mayor cuanto menor es la relación entre el volumen y la superficie de la pieza.

La ACI 209.R-92 recomienda usar la siguiente ecuación para predecir la deformación por fluencia en cualquier tiempo t :

$$vt = \frac{t^{0.6}}{10+t^{0.6}} * vu \quad (2-15)$$

Ecuación aplicable para curado a vapor de 1-3 días o curado húmedo a 7 días

t = tiempo en días después de la aplicación de la carga.

vt = coeficiente de fluencia después de t días de aplicación de la carga.

vu = coeficiente de fluencia ultima.

$$vu = 2.35 Y_c \quad (2-16)$$

Y_c = factor de corrección cuando se tiene en cuenta otras condiciones dentro de la composición de concreto.

$$Y_c = Y_{la} * Y_\lambda * Y_{vs} * Y_s * Y_p * Y_\alpha \quad (2-17)$$

Los cuales:

Y_{la} = factor de corrección por edad de la carga (loading age):

$$Y_{la} = 1.25 * t^{-0.118}, \text{ para edades de carga después de los 7 días bajo curado húmedo.} \quad (2-18).$$

$$Y_{la} = 1.13 * t^{-0.094}, \text{ para edades de carga después de los 1-3 días bajo curado a vapor.} \quad (2-19).$$

Y_λ = factor de corrección por humedad relativa del ambiente, el cual está definido como:

$$Y_\lambda = 1.27 - 0.0067\lambda, \text{ para } \lambda > 40, \text{ donde } \lambda \text{ es la humedad relativa en porcentaje.} \quad (2-20).$$

Y_{vs} = factor de corrección debido a la relación volumen/superficie (volumen to Surface) o espesor del miembro. Existen dos formas de calcular este factor. Usando el método del espesor promedio y el método de la relación volumen/superficie.

- El método del espesor promedio posee dos condiciones, si el elemento posee un espesor menor a 150 mm (6 in), se usa la Tabla 2.5.5.1 del ACI 209R-92. Si por el contrario es mayor o igual a 150 mm (6 in) hasta 300 o 380 mm (12 a 15 in), se usan las siguientes expresiones.

$$Y_{vs} = 1.14 - 0.00092h, \text{ durante el primer año de aplicada la carga, } h \text{ en (mm).} \quad (2-21)$$

$$Y_{vs} = 1.10 - 0.00067h, \text{ para valores de años superiores, } h \text{ en (mm).} \quad (2-22)$$

- El método relación volumen-superficie (v/s), se usa cuando el elemento posee un espesor mayor a 380 mm.

$$Y_{vs} = 2/3 (1 + 1.13 * \exp(-0.0213 * h), \text{ con } h \text{ en (mm).} \quad (2-23)$$

Y_s = factor de corrección por asentamiento del concreto

$$Y_s = 0.82 + 0.00264 * S; \text{ donde } S \text{ es en (mm).} \quad (2-24)$$

Y_p = factor de corrección por porcentaje de agregado fino

$$Y_p = 0.88 + 0.0024p. \quad (2-25)$$

p = relación entre agregado fino y el agregado total por peso expresado en porcentaje (%).

Y_a = factor de corrección por contenido de aire,

$$Y_a = 0.46 + 0.09 * \alpha \geq 1.0; \alpha \text{ es el contenido de aire en porcentaje (%).} \quad (2-26)$$

Con el uso de las anteriores expresiones, se puede saber si el material continúa en fluencia después de un tiempo determinado, o si el material ha llegado a un punto estable. En la Tabla 2.2 la ACI 209R-92 presenta una tabla en la cual se puede observar los valores de relación en el tiempo de la fluencia y retracción del concreto.

Tabla 2.

Relación de valores de fluencia y retracción en el tiempo.

Valores para Relación en el tiempo para la fluencia y retracción según ACI 209R-92									
Fluencia / Retracción	Tiempo								
	28 días	3 meses	6 meses	1 año	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años
Vt/Vu	0.42	0.6	0.69	0.78	0.84	0.9	0.93	0.95	0.96
$\epsilon_{sh}(t)/(\epsilon_{sh})_u$	0.44	0.72	0.84	0.91	0.95	0.98	0.99	1	1

Fuente: Tomado y adaptado de: ACI 209R-92. Tabla 2.4.1. Page 37.

2.3.3 Expansión y contracción térmica El concreto se expande cuando está sujeto a incrementos de temperatura y se contrae cuando está sujeto al descenso de temperatura. El coeficiente de expansión térmica mide la relación que existe entre el cambio de volumen o longitud que se presenta en el concreto cuando es expuesto a una variación de temperatura. Algunos factores que influyen en el coeficiente de expansión térmica son: el tipo y cantidad de agregado grueso y fino, contenido de humedad, proporción de la dosificación, tipo de cemento y la edad (David Fanella, 2016, p. 36).

En general, el coeficiente de expansión térmica está dentro del rango de 5.5 a $6.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$ (9.9 a $11.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) para concreto de peso normal, y de 4 a $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{F}$ (7.2 a $10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) para concreto liviano (David Fanella, 2016, p. 36)..

2.4 Juntas

El concreto siempre está sometido a acciones externas las cuales pueden ser causadas por el medio ambiente (cambios de temperatura), por reacciones químicas internas que componen al material,

esfuerzos de tensión y/o compresión; que causan que el material esté sometido a contracciones, expansiones y deformaciones constantemente. Estos cambios siempre están generando en el material movimientos internos entre las partículas que lo componen ocasionando que se generen fisuras. En algunos casos, estas fisuras son tan pequeñas que son despreciables y no afectan a la integridad estructural. En otros casos, las fisuras generadas por las acciones mencionadas anteriormente pueden ser tan grandes que no pueden ser despreciadas y es necesario construir una junta (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.3).

Existen variables que afectan la contracción del concreto como lo son: los agregados, los cuales actúan para restringir la contracción de la pasta de cemento; la relación agua/cemento, el cual dependiendo de su proporción afecta significativamente a la mezcla (entre mayor sea esta relación, el concreto será más susceptible a la contracción); tamaño del elemento de concreto y las condiciones del medio ambiente (cambios de temperatura).

Las juntas son básicamente grietas o fisuras planificadas y controladas que permiten que el concreto pueda moverse sin generar fisuras irregulares o perjudiciales para la integridad estructural, permitiendo que el concreto pueda liberar esfuerzos internos reduciendo en gran parte la formación de grietas perjudiciales. El control de fisuras o grietas es necesario en estructuras de concreto reforzado por dos razones (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.3):

- **Estética:** esta razón es más que obvia. Las construcciones en concreto reforzado además de cumplir las funciones para las que fueron diseñadas, también deben poseer una estética agradable para las personas en general, ya que no solo brinda una buena apariencia, sino también sensación de seguridad para las personas.

- **Vida útil:** la presencia de fisuras en las edificaciones de concreto ocasiona que la estructura sea susceptible a ataques de humedad, corrosión y a agentes nocivos transportados por el aire, que generan efectos de deterioro.

Los cambios en el volumen de concreto causados por los cambios de humedad y temperatura deben tenerse en cuenta para el diseño de estructuras en concreto reforzado. Las juntas de contracción y expansión limitan la magnitud de las fuerzas, movimientos y grietas inducidas por los cambios mencionados, dividiendo la estructura en segmentos individuales (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-8). En la construcción de estructuras de concreto existen tres tipos o clasificación de las juntas las cuales son: juntas de construcción, juntas de contracción y juntas de expansión también llamadas juntas de dilatación o de aislamiento. A continuación, se explicará con más detalle cada una de ellas.

2.4.1 Juntas de construcción Las juntas de construcción se colocan en los lugares donde ha concluido la jornada de trabajo. Estas juntas separan áreas de concreto colocado o fundidos en distintos periodos de tiempo (separan el concreto viejo que fue vaciado en una fundida anterior del nuevo), ya que la cantidad de concreto que puede ser colocado en un determinado periodo de tiempo está gobernada por la dosificación, la capacidad de batida de mezcla de concreto, el tamaño de la cuadrilla o equipo de trabajo y la cantidad de tiempo necesario para fundir una determinada área (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.4).

2.4.1.1 Construcción de la junta Estas juntas se encuentran comúnmente en losas o placas y en muros, ya que son elementos estructurales que poseen un área de gran tamaño. Estos elementos se funden en varias etapas, ya que, al tener un tamaño considerable, son más susceptibles a

expansiones y contracciones del material debido a los cambios de temperatura y humedad, generando fisuras o grietas los cuales exponen al elemento estructural a ataques de corrosión o permitiendo que el agua entre a través de ellas disminuyendo su permeabilidad (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.5).

Cuando se desea realizar una nueva fundida del elemento para continuar y terminar su construcción, antes de iniciar con la actividad se debe revisar que el sector donde finalizó la fundida anterior esté limpia de cualquier partícula que pueda afectar la continuidad e integridad del elemento tales como polvo, o residuos de concreto viejo, para que la transmisión de esfuerzos sea continua y consistente con lo diseñado en todo momento.

Para ello, se debe limpiar con abundante agua a presión (en lo posible con hidrolavadora) y con una sopladora, ya que no solo ayuda a la limpieza y remoción de material contaminante, también ayuda a la adherencia de concreto nuevo y viejo.

2.4.1.2 Localización de las juntas Las juntas de construcción deben estar localizadas en las zonas donde se afecte en menor medida la integridad estructural y la cantidad de juntas depende del elemento estructural que se vaya a fundir (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.6).

Vigas y losas: Estas juntas deben localizarse en sentido perpendicular al acero de refuerzo principal para facilitar la transferencia de esfuerzos cortantes. Las juntas son usualmente localizadas en la luz central o en el tercio de la luz, pero su localización debe ser verificada por el ingeniero (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-9).

Si en el caso de una viga, ésta intercepta con una viga principal en el punto de mínimo cortante (punto medio), el ACI 318 establece que la junta de construcción debe estar desplazada una distancia igual a dos veces el ancho de la viga que la intercepta (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.6).

La junta se puede hacer de 2 formas: junta llena y junta con llave, la cual es realizar un quiebre en forma de llave para mejorar su adherencia. En la Figura 2.3 se puede apreciar un ejemplo de cada una (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.6).

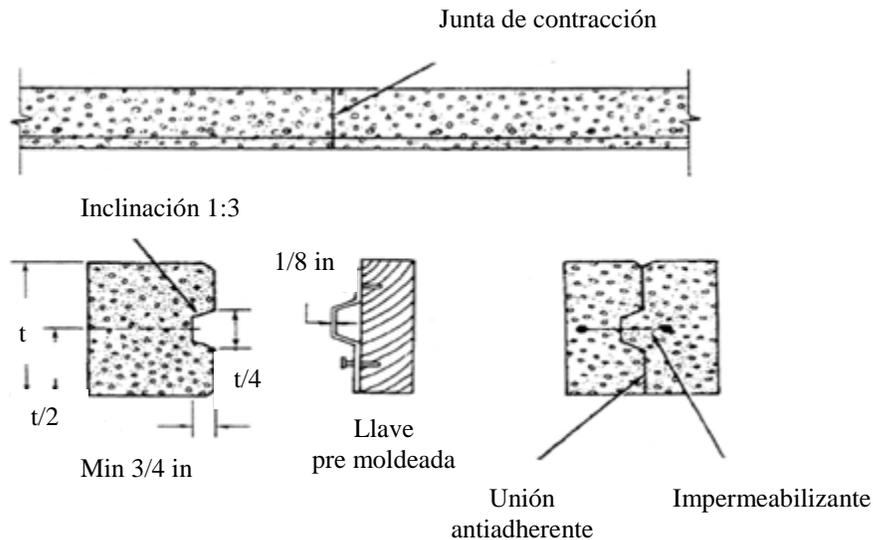


Figura 3. Junta llena y junta con llave premoldada.

Fuente: Edward G. Nawy. Chapter 17, joints in concrete construction. Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis. Page 17-3.

En ocasiones, la necesidad de cumplir los tiempos establecidos, por desconocimiento del tema, o por descuido de los inspectores e ingenieros de la obra se cometen errores que afectan la junta generando que la transferencia de esfuerzos no sea la ideal. En la Figura 2.4, se puede evidenciar una mala práctica, ya que se omite totalmente el debido proceso para la construcción de la junta, además de que la junta no estará perpendicular al refuerzo principal.



Figura 4. Junta de construcción mal construida.

Fuente: ingeniero Roberto Rochel Awad, Medellín, Colombia.

En la Figura 2.5 se evidencia que la localización de la nueva junta de construcción de la losa no solo es indebida, sino también prohibida, ya que se está colocando prácticamente en la zona media de la viga en toda su longitud, dejando expuesto los estribos y vulnerable a la intemperie siendo susceptible a la corrosión y a ataques ambientales, debilitando las propiedades del material.



Figura 5. Junta de construcción mal construida

Fuente: ingeniero Roberto Rochel Awad, Medellín, Colombia.

Columnas y muros: Estas juntas deben localizarse en el lado inferior de las losas o vigas y en el lado superior para columnas que continúan hacia el siguiente piso. Dependiendo de la arquitectura de la estructura, la junta de construcción puede ser usada como un detalle arquitectónico (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.8). La localización de juntas de construcción en muros también necesita ser compatible con la apariencia de la estructura, las cuales a menudo son localizadas en las esquinas de los muros.

2.4.2 Juntas de contracción El secado por retracción y temperatura sobre el concreto causa esfuerzos de tensión si el material está restringido. La fisura ocurrirá cuando el esfuerzo de tensión, f_t , alcance la fuerza a tensión del concreto el cual está entre $4\sqrt{f'_c}$ a $7.5\sqrt{f'_c}$ (f'_c y f_t en psi) para concreto de peso normal debido a la baja capacidad que tiene el concreto para resistir esfuerzos a tensión (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.9).

Las juntas de contracción permiten los movimientos horizontales causados por el fraguado y cambios de temperatura del concreto. Son cortes moldeados o labrados en un elemento de concreto previamente localizadas, para crear un plano de debilidad en el cual se puedan originar las fisuras y puedan ser controladas sin comprometer la apariencia de la estructura. Usando los detalles arquitectónicos, estas juntas pueden ser localizadas para que las fisuras ocurran en lugares imperceptibles y muchas veces pueden ser eliminadas de la vista (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10).

2.4.2.1 Construcción de la junta Existen dos tipos de juntas de contracción: juntas de contracción totales y juntas de contracción parciales. Las juntas de contracción son construidas con un corte completo y una completa discontinuidad en el refuerzo, finalizando a 2 in (5 cm) de

la junta de contracción (el cual equivale al recubrimiento que debe tener el elemento estructural) y colocando una unión antiadherente (bond breaker) junto con un sellante para separar el elemento previamente colocado del siguiente.

En las juntas de contracción parciales, el refuerzo pasa a través de la junta de contracción, pero el corte realizado es hasta la cuarta parte de la profundidad del elemento (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.10).

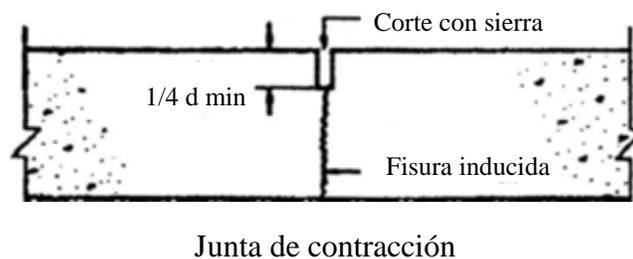


Figura 6. Junta de contracción parcial.

Fuente: Edward G. Nawy. Chapter 17, joints in concrete construction. Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis. Page 17-4.

2.4.2.2 Localización de las juntas

Muros: En la siguiente Figura 2.7, varios autores recomiendan la distancia máxima que debe tener la junta de contracción en los muros. Los espaciamientos recomendados varían entre 15 a 30 pies (4.6 a 9.2 m) y de 1 a 3 veces la altura del muro (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10).

Tabla 3.

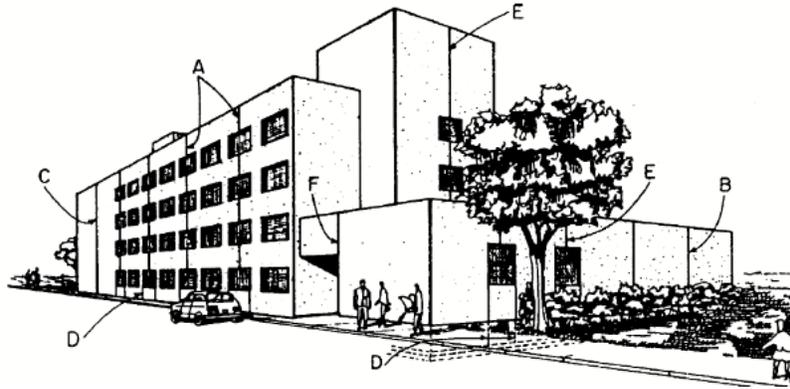
Espaciamiento de las juntas de contracción.

AUTOR	ESPACIAMIENTO
Merril (1943)	20 pies (6 m) para muros con aberturas frecuentes
	25 pies (7.5 m) para muros solidos sin aberturas
Fintel (1974)	15 a 20 pies (4.5 a 6 m) para muros y losas. Se recomienda colocar juntas en cambios abruptos en la planta y en altura para controlar las concentraciones de esfuerzos
Wood (1981)	20 a 30pies (6 a 9 m) para muros
PCA (1982)	20 a 25 pies (6 a 7.5 m) para muros dependiendo del número de aberturas
ACI 302.1R (1989)	24 a 36 veces el espesor de la losa y el muro
ACI 350R (1983)	30 pies (9 m) en estructuras sanitarias
ACI 224R (1992)	1 a 3 veces la altura del muro

Fuente: Tomado y adaptado de: Edward G. Nawy. Chapter 17, joints in concrete construction.

Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis. Page 17-5.

La PCA (the portland cement association, 1982) recomienda que las juntas de construcción deben estar localizadas como se ilustra en la Figura 2.8.



A. 6 m de separación en muros con aberturas frecuentes.

B. No más de 6 m de separación en muros sin aberturas.

C. Entre 3 a 5 m de una esquina, si es posible.

D. En línea con cada jamba del primer piso.

E. Sobre el primer piso en el centro de una abertura.

F. Las líneas de las jambas son preferibles.

Figura 7. Localización de juntas de contracción en edificios recomendado por la PCA.

Fuente: Tomado y adaptado de (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10).

Losas: Las juntas en losas de concreto son construidas para permitir el movimiento leve del concreto y proveer a la losa una apariencia libre de fisuras hasta cierto punto. Los movimientos de la losa son causados principalmente por:

- Contracción del concreto, el cual es cambio en el volumen de concreto debido al secado del concreto.
- Cambios de temperatura.
- Esfuerzos de flexión ocasionados por la aplicación de cargas.
- Asentamiento de la losa.

Si el movimiento está restringido debido a las condiciones de apoyo, la losa se fisurará cuando la resistencia a tensión sea excedida y estas fisuras pueden aparecer en cualquier tiempo y en cualquier lugar. El ACI 302 recomienda que las juntas de contracción deben realizarse entre 24 a 36 veces el espesor de la losa (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-20).

2.4.3 Juntas de expansión, de aislamiento o de isolación. La contracción es la pérdida de agua en el concreto, mientras que la retracción es el cambio de volumen del concreto debido a la pérdida de agua y la razón principal de los anteriores efectos en el concreto es el cambio de temperatura al que está expuesto el concreto durante su vaciado y fraguado. Todas las estructuras poseen algún grado de restricción las cuales inducirán valores de esfuerzos diferentes dependiendo de los cambios de temperatura. Si el cambio de temperatura en el concreto es alto, los esfuerzos generados son importantes y deben ser tenidos en cuenta para el diseño de la estructura, en cambio si el cambio de temperatura es pequeño, los esfuerzos generados pueden ser despreciables (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.11).

Una medida aproximada de la elongación o contracción del concreto se puede obtener multiplicando el coeficiente de expansión térmica del concreto $\alpha = 5.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{F}$ ($9.9 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$) por la longitud de la estructura y por el cambio de temperatura (ya sea por aumento de la temperatura o por disminución de la misma) (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10). Por ejemplo, si una estructura mide 200 pies de longitud (61 metros) y está sometida a una temperatura ascendente de $25 \text{ }^\circ\text{F}$ ($14 \text{ }^\circ\text{C}$) la estructura se alargará aproximadamente 10 mm.

$$\text{Elongación aproximada} = \alpha \times \text{temperatura} \times \text{longitud estructura} \times 1000 \text{ (mm)}$$

$$\text{Elongación aproximada} = 9.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \times 14 \text{ }^\circ\text{C} \times 61 \text{ metros} \times 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Elongación aproximada} = 9 \text{ mm}$$

Como segundo ejemplo, se tiene un muro de 58 m de longitud sujeto a un cambio de temperatura de $34 \text{ }^\circ\text{C}$, el muro se elongará 19 mm.

$$\text{Elongación aproximada} = \alpha \times \text{temperatura} \times \text{longitud estructura} \times 1000 \text{ (mm)}$$

$$\text{Elongación aproximada} = 9.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \times 34 \text{ }^\circ\text{C} \times 58 \text{ metros} \times 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Elongación aproximada} = 19 \text{ mm}$$

Las juntas de expansión son usadas para limitar las fuerzas de los elementos estructurales cuando estos sufren cambios en su volumen debido a los efectos de cambio de temperatura y permite separar estos elementos de la estructura para que puedan expandirse o contraerse sin producir efectos adversos en la integridad estructural. Su función principal además de aislar un elemento de otro, es permitir los movimientos horizontales (causados por el fraguado y cambios de temperatura del concreto) y movimientos verticales que son causados por cargas que soporta el elemento estructural, asentamiento o deflexión del mismo (Nawy, 2008, p.17-7).

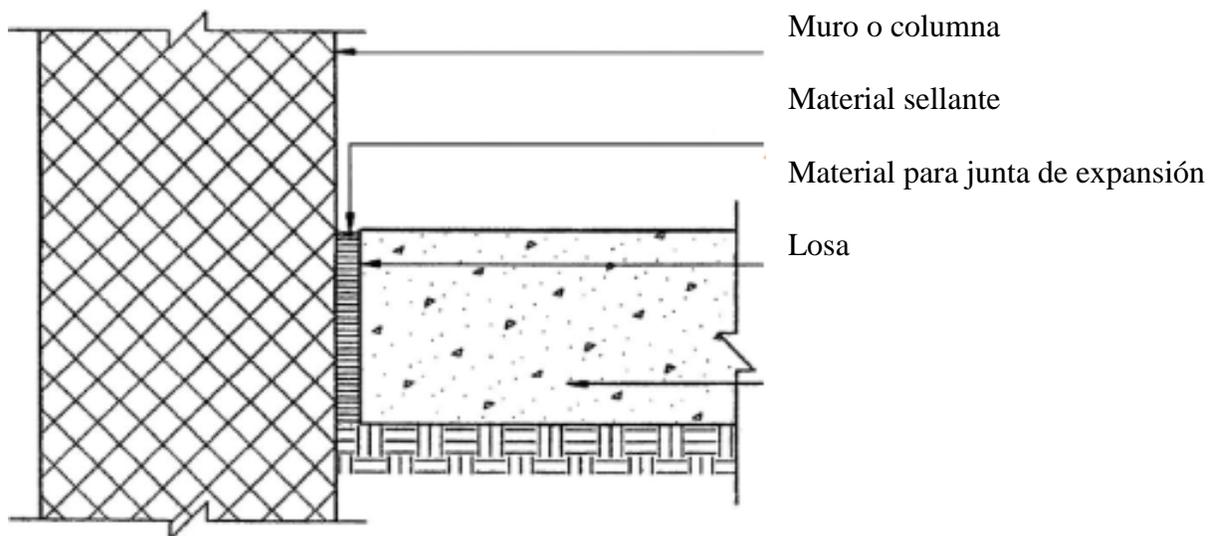


Figura 8. Detalle de junta de expansión.

Fuente: Edward G. Nawy. Chapter 17, joints in concrete construction. Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis. Page 17-7.

El tamaño de la junta está determinado por la máxima temperatura que se espera puede alcanzar el concreto. Generalmente el tamaño de la junta de expansión varía entre 1 a 6 in (25 a 150 cm) siendo el ancho de 2 in la más típica (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10).

Las juntas de expansión o de aislamiento entre losas y columnas pueden ser circulares o cuadradas. Las juntas de expansión circulares evitan las esquinas reentrantes (retroceso en las esquinas) debido a que es el lugar donde las concentraciones de esfuerzos son mayores. Las juntas de expansión cuadradas en las columnas son usualmente rotadas para formar un romboide ya que evita la propagación de fisuras desde las esquinas.

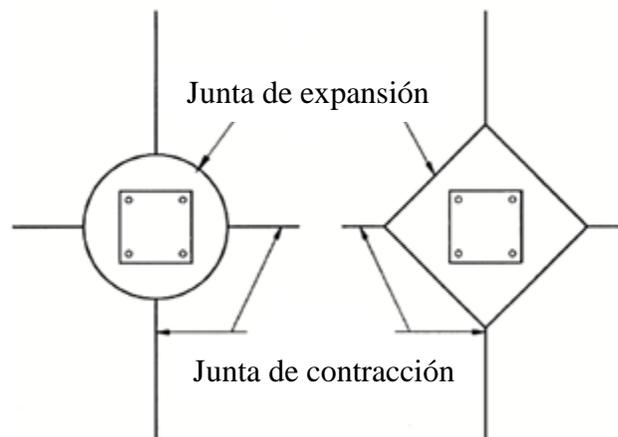


Figura 9. Juntas de expansión circulares y cuadradas en columnas.

Fuente: Tomado y adaptado de: (American Concrete Institute, ACI 224. 1995, p.224.3R-10).

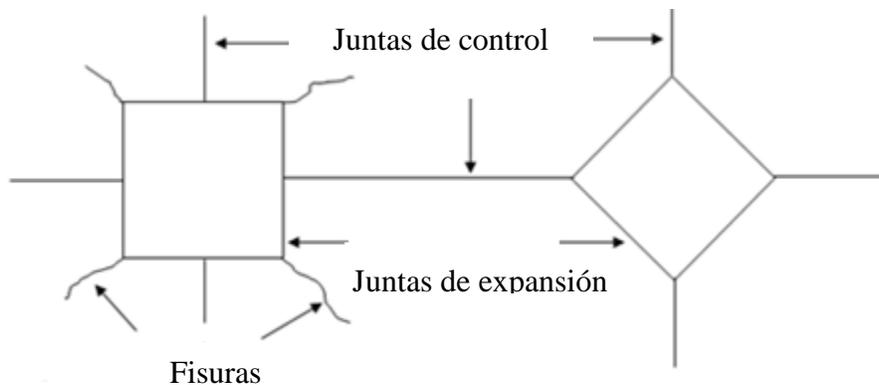


Figura 10. Fisuras en esquinas reentrantes.

Fuente: Tomado y adaptado de: [https://www.google.com.co/search?q=re-](https://www.google.com.co/search?q=re-entrant+corner+en+espa%C3%B1ol&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPmPbCmfzTAhUBwiYKHS_ND14Q_AUIBygC&biw=1366&bih=662#imgrc=QTThYN4RpFLbFM)

[entrant+corner+en+espa%C3%B1ol&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPmPbCmfzTAhUBwiYKHS_ND14Q_AUIBygC&biw=1366&bih=662#imgrc=QTThYN4RpFLbFM](https://www.google.com.co/search?q=re-entrant+corner+en+espa%C3%B1ol&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPmPbCmfzTAhUBwiYKHS_ND14Q_AUIBygC&biw=1366&bih=662#imgrc=QTThYN4RpFLbFM).

3. Metodología

Se realiza una recopilación de fuentes bibliográficas que brindan recomendaciones para calcular la máxima longitud necesaria entre juntas de expansión, manteniendo un control de ancho de fisura recomendado como factor del cambio de temperatura ambiente y retracción del concreto. Para evitar colocar la junta, se debe construir el elemento de concreto en rangos menores a los obtenidos por medio de los métodos presentados a continuación.

3.1 Método de la regla general

El método de la regla general o también conocido como la regla del pulgar (en países de habla inglesa), está basado en los conocimientos teóricos, empíricos y experiencias que el ingeniero ha obtenido en campo, además de depender del tipo de elemento a fundir.

Este método, aunque es aceptado universalmente, es muy conservador ya que no tiene en cuenta los efectos de retracción y contracción en el concreto debidos a los cambios de temperatura. La distancia a la cual debe colocarse la junta varía desde 9 a 60 metros dependiendo del tipo de estructura, pero en la práctica rara vez son mayores a los 30 metros (American Concrete Institute, ACI 224. 1995. p.224.3R-10).

A continuación, se ilustra una tabla con las distancias recomendadas por varios autores.

Tabla 4.

Espaciamientos de juntas de expansión recomendadas por diversos autores.

AUTOR	ESPACIAMIENTO
Lewerenz (1907)	75 pies (23 m) para muros.
Hunter (1953)	80 pies (25 m) para muros y cielos rasos. 30 a 40 pies (9 a 12 m) para muros sin aislar.
Wood (1981)	100 a 120pies (30 a 35 m) para muros.
Billig (1960)	100 pies (30 m) longitud máxima sin juntas; localización de la junta recomendada en los cambios abruptos en planta y altura para tener en cuenta la concentración de esfuerzos.
Indian Standars Institution (1964)	148 pies (45 m) longitud máxima entre juntas.
PCA (1982)	200 pies (60 m) longitud máxima sin juntas de expansión.
Kaminetsky (2001)	100 pies (30 m) máxima longitud en estructuras ambientales.

Fuente: Tomado y adaptado de: Edward G. Nawy. Chapter 17, joints in concrete construction.

Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis. Page 17-6.

3.2 Método de Martin y Acosta (1970)

Martin y Acosta (1970) presentan una expresión para el cálculo del máximo espaciamento de juntas de expansión en un edificio de concreto reforzado de un piso con luces aproximadamente iguales. La expresión está basada en resultados obtenidos de estudios de elementos estructurales sujetos a cambios de temperatura. El espaciamento de la junta está en función de la longitud, rigidez del elemento y de los cambios de temperatura que puedan existir en el sitio de construcción. El diseño por cambio de temperatura, ΔT , es tomado como las dos terceras partes entre las diferencias entre los valores de máxima y mínima temperatura normal diaria más una temperatura

de 30°F (17°C) para tener en cuenta los efectos de secado por retracción del concreto (Pfeiffer & Darwin, 1987, p.15).

$$\Delta T = \frac{2}{3} * (T_{max} - T_{min}) + T_s \quad (3-1)$$

T_{max} = temperatura normal diaria máxima.

T_{min} = temperatura normal diaria mínima.

T_s = 30°F (19 °C).

Martin y Acosta desarrollaron una expresión para calcular el espaciamiento de la junta de expansión usando como base el análisis estructural (American Concrete Institute, ACI 224. 1995. p.224.3R-11).

$$L_j = \frac{112000}{R * \Delta T} \quad ; \quad L_j \max \leq \frac{2000 * h}{\Delta T} \quad (3-2)$$

$$R = 144 * \frac{I_c}{h^2} * \frac{(1+r)}{(1+2r)} \quad (3-3)$$

L_j = espaciamiento de la junta de expansión (in).

ΔT = diseño por cambio de temperatura (°F).

r = factor de rigidez de la columna y viga. $r = \frac{K_c}{K_b}$.

K_c = factor de rigidez de la columna más cercana = $\frac{I_c}{h} \text{ in}^3$.

K_b = factor de rigidez de la viga más cercana = $\frac{I_b}{L} \text{ in}^3$.

h = altura de la columna (in).

L = longitud de la viga (in).

I_c = momento de inercia de la columna (in^4).

I_b = momento de inercia de la viga (in^4).

Los valores de ΔT pueden ser obtenidos por medio de registros de datos ambientales de una entidad gubernamental para la localización en el que se situó la estructura. Martin y Acosta tomaron como referencia para su estudio el registro de temperaturas ilustrado en la Tabla 3.1 y en la Tabla 3.2 se presenta el registro de temperaturas de las principales ciudades de Colombia tomadas por el Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (IDEAM, 2014).

Tabla 5.

Referencias de valores de máxima y mínima temperatura usadas por Martin y Acosta

TEMPERATURA MAXIMA Y MINIMA		
DIARIAS		
Location	Normal daily	
	temperature, °F	
	Maximun	Minimum
Anchorage, AK	66	4.3
Atlanta, GA	87	37.1
Boston, MA	81.9	23
Chicago, IL	84.1	19
Dallas, TX	95	36
Denver, CO	88.4	14.8
Detroit, CO	84.7	19.1
Honolulu, HI	85.2	65.8
Jacksonville, PL	92	45
Los Angeles, CA	75.9	45
Miami, PL	89.7	57.9
Milwaukee, CA	78.9	12.8
New Orleans, LA	90.7	44.8
New York, NY	85.3	26.4

**TEMPERATURA MAXIMA Y MINIMA
DIARIAS**

Location	Normal daily temperature, °F	
	Maximun	Minimum
Phoenix, PA	104.6	35.3
Pittsburgh, PA	83.3	20.7
San Francisco, CA	73.8	41.7
San Juan, PR	85.5	70
Seattle, WA	75.6	33
St. Louis, MO	89.2	23.5
Tulsa, OK	93.1	26.5

Note: °C= 5/9 (°F-32)

Fuente: American Concrete Institute, ACI 224. 1995. p.224.3R-11.

Tabla 6.

Referencias de valores de máxima y mínima temperatura.

PROMEDIOS CLIMATOLÓGICOS SANTANDER									
ESTACION	MUNICIPIO	CORRIENTE	ELEVACION (MSN)	LONGITUD	LATITUD	PRECIPITACION (MM)	TEMP. MEDIA (°C)	T. MEDIA MAX (°C)	T. MEDIA MIN (°C)
Albania	Albania	Q. canutillo	1690	-73.92	5.78	2491	18.6	22.9	14.8
Apto. Yanguíes	Barrancabermeja	Magdalena	126	-73.8	7.02	2487	28.2	32.5	22.9
UIS	Bucaramanga	Tona	1018	-73.1	7.13	1253	23	27.9	19.2
Charalá	Charalá	Fonce	1350	-73.17	6.28	2651	21.1	28.3	15.7
Chima	Chima	Suárez	1090	-73.37	6.35	3047	23.2	29.9	17.5
Cimitarra	Cimitarra	Q. Toraba	300	-73.95	6.32	2804	27	31.6	22.1
El Carmen	El Carmen	Oponcito	815	-73.52	6.88	2261	24.1	27.6	20.2
Gámbita	Gámbita	Lenguaruco	1900	-73.35	5.95	2453	17.8	23	12.5
Llano Grande	Girón	Rio de Oro	777	-73.18	6.97	978	25	30.6	19.5

Fuente: Tomado y adaptado de [http:// documentacion.ideam.gov.co/ openbiblio/ bvirtual/ 019711/AtlasClimatico3.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/AtlasClimatico3.pdf)

3.3 Recomendaciones de la academia nacional de ciencias (National Academy of Science)

Mediante estudios realizados por el consejo directivo del comité permanente de ingeniería estructural de estados unidos (SCSE, standing committee on structural engineering), se desarrollaron dos métodos para evaluar, diseñar y construir juntas de expansión. Estos dos métodos fueron publicados por la National Academy of Science de estados unidos en 1974 ante la falta de un procedimiento técnico y práctico por parte de las agencias federales para determinar la necesidad de colocar juntas de expansión y como debería ser su diseño y construcción.

Estos métodos proporcionan criterios y recomendaciones basados en el análisis detallado de un reporte sin publicar en el cual los cambios en la dimensión de nueve edificios federales de los estados unidos fueron observados, relacionados y registrados los cambios en la temperatura que presentaban; y el estudio de los criterios y prácticas actuales que tienen las agencias federales sobre el tema (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.1).

El estudio está limitado solamente a la investigación de las juntas de expansión que permitan el movimiento horizontal, mientras que los problemas asociados al movimiento vertical de los elementos estructurales, retracción del concreto, y asentamiento diferencial de la cimentación no son considerados. (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.1).

La National Academy of Science proporciona una serie de recomendaciones que deben tenerse en cuenta para la localización y dimensionamiento de las juntas de expansión:

- El análisis estructural debe incluir si existe la necesidad de construir una junta de expansión debido al potencial impacto que tiene el cambio de temperatura en el concreto. Si es el caso, también debe incluir el diseño de la junta respectiva.

- El diseño por cambio de temperatura de la junta debe estar regida por la siguiente ecuación (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.3):

$$\Delta T = (T_w - T_m) \text{ o } (T_m - T_c) \quad (3-4)$$

La mayor de las dos

T_m = temperatura normal durante la temporada de construcción de la estructura. Depende de la localización de la estructura.

T_w = temperatura máxima durante la temporada de verano, es decir, la temperatura más alta donde se localiza la estructura.

T_c = temperatura máxima durante la temporada de invierno, es decir, la temperatura más baja donde se localiza la estructura.

- Tener en cuenta el tipo de elemento a fundir, tipo de conexión con la cimentación, simetría de la rigidez contra los desplazamientos laterales.
- Materiales de construcción, dimensiones y configuración geométrica del edificio.

No es posible establecer con exactitud el máximo cambio de temperatura esperado, debido a que este cambio de temperaturas no es el mismo para todas las partes de la estructura y esto no es conocido durante la fase de diseño (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.1)

3.3.1 Método Aproximado La NAS (National Academy of science), publicó una gráfica realizada por la SCSE, en la cual expresa la máxima longitud permitida sin usar junta de expansión basada en el diseño por cambio de temperatura. Valores iguales o superiores a los límites que presenta la gráfica requieren junta de expansión.

En la Figura 3.2 se presenta la gráfica realizada por las agencias federales y está basada en criterios y experiencias personales. Se puede observar que la longitud de la junta de expansión disminuye de forma lineal con respecto a la temperatura, lo cual no es del todo cierto, ya que los cambios de temperatura no son lineales.

Como resultado, la SCSE realizó una modificación de este cambio lineal que se presenta para las temperaturas entre 30°F a 70°F presentando la Figura 3.3. La NAS publica la nueva gráfica, la cual es aplicable a estructuras aporricadas. Para sistemas estructurales distintos en la cual prevalecen otros tipos de condiciones, esta longitud debe modificarse por factores de ajuste.

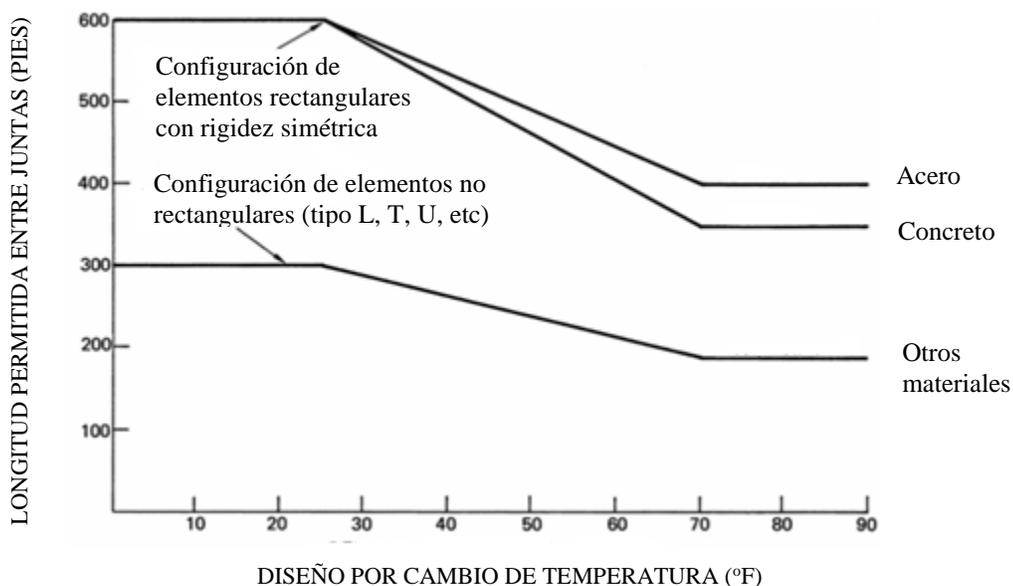


Figura 11. Máxima longitud permitida para usar juntas de expansión.

Fuente: The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.5.

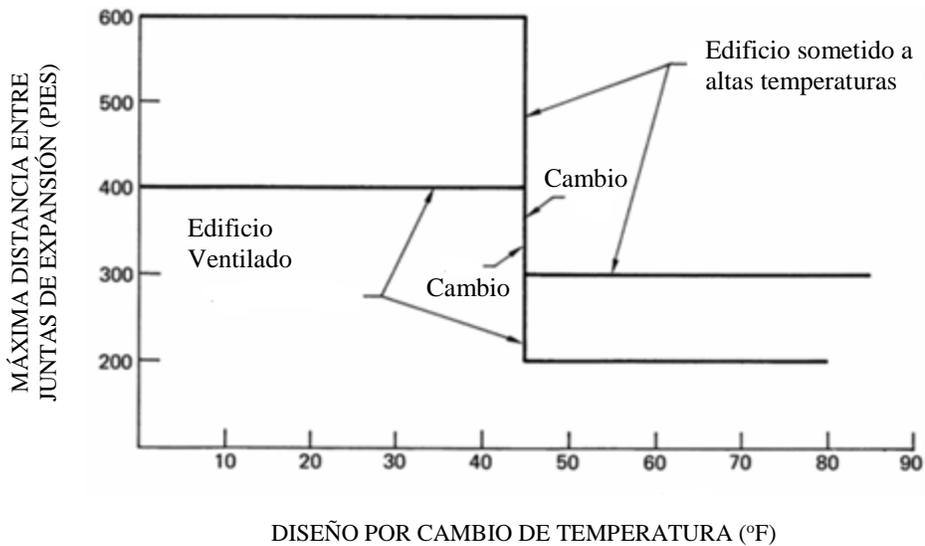


Figura 12. Máxima longitud permitida para usa juntas de expansión según la SCSE.

Fuente: The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.9.

Si el edificio estará expuesto únicamente a altas temperaturas y si las bases de las columnas están articuladas, la longitud permitida es la indicada en la Figura 3.3.

R1: si el edificio estará expuesto a temperaturas bajas y también a temperaturas altas (debido a las estaciones climáticas), aumentar la longitud obtenida en la Figura 3.3 por un 15%.

R2: si el edificio estará expuesto a temperaturas bajas, disminuir la longitud permitida en la Figura 3.3 por un 33%.

R3: si el edificio tendrá las bases de las columnas empotradas, disminuir la longitud permitida en la Figura 3.3 por un 15%.

R4: si el edificio posee más rigidez contra desplazamientos laterales en una de sus dimensiones en comparación con la otra, disminuir la longitud permitida en la Figura 3.3 por un 15%.

Si más de una de las condiciones mencionadas anteriormente prevalecen, el factor de ajuste para ser aplicado será la suma algebraica de los factores mencionados anteriormente. En resumen, la ecuación final queda de la siguiente manera:

$$L_{max} = L_{permitida} + L_{permitida} * (R1 - R2 - R3 - R4) \quad (3-5)$$

3.3.1.1 Dimensionamiento de la junta de expansión por el método aproximado. Para calcular el ancho que debe tener la junta de expansión, la SCSE desarrolla la siguiente expresión:

$$W = E * L * \Delta T \quad (3-6)$$

W= ancho de la junta de expansión (in).

E= coeficiente de expansión térmica del concreto (5.5×10^{-6} °F).

L= longitud efectiva del elemento.

ΔT = diseño por cambio de temperatura (°F).

Martin y Acosta propone usar un coeficiente de expansión térmica del concreto de 5.5×10^{-6} °F, mientras que la NAS recomienda usar un coeficiente de 6×10^{-6} °F. para efectos de desarrollo del presente trabajo de grado, se usará el menor de los dos valores presentados ya que es el más crítico. Para permitir la compresibilidad y expansibilidad del sellante de la junta, el ancho de la junta W debe modificarse por un factor de corrección, C1, el cual debe aplicarse de la siguiente manera (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.7):

C1= 2, para edificios sin calefacción, ventilados, o sometidos a temperaturas normales.

C1= 1.7, para edificios con calefacción o sometidos a altas temperaturas ambientales.

C1= 1.4, para edificios sometidos a ambos casos.

En resumen, la ecuación para calcular el ancho de la junta de expansión se expresa de la siguiente manera:

$$W = C1 * E * L * \Delta T \quad (3-7)$$

3.3.2 Método analítico Si los datos obtenidos mediante el método aproximado son insuficientes y el cálculo de la distancia entre las juntas de expansión no puede ser determinado, se puede realizar un análisis estructural considerando la rigidez de los elementos. El método analítico solo está limitado a movimientos horizontales debido a los diferenciales de temperatura, como lo son la expansión y retracción. Si se desea tener en cuenta los movimientos verticales como lo es la deflexión del elemento en concreto, se debe realizar nuevos estudios para desarrollar una nueva metodología (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.1).

Este análisis debe incluir la evaluación de los efectos de: dimensión y geometría del edificio, cambios por temperatura $C \Delta t$, tipo de elemento estructural, sistema de control ambiental del edificio, y materiales de construcción (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.23). El valor de ΔT es obtenido de la ecuación (3-4), el cual tiene en cuenta las temperaturas máximas y mínimas de la zona de construcción y la temperatura en la temporada de construcción.

La NAS asigna los siguientes valores para el coeficiente C:

C= 1; para edificios ventilados, edificios sometidos a temperaturas media diaria o edificios sin algún sistema de control de temperatura (edificios con calefacción o con aire acondicionado).

C= 0.7; para edificios con calefacción (altas temperaturas), pero sin aire acondicionado.

C=0.55; para edificios con calefacción (altas temperaturas), y con aire acondicionado.

Los valores de C menores a la unidad están basados en la suposición de que el sistema de control ambiental operará continuamente (sistema de aire acondicionado y calefacción). El valor de C

menor a la unidad no puede ser usado si se conoce que el sistema de control ambiental del edificio no operará continuamente. (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.6).

El valor del coeficiente C siempre será empírico, ya que no existe un procedimiento que permita cuantificar y evaluar la influencia de los mecanismos de calefacción y aire acondicionado del edificio (en caso de que los posea) para reducir los efectos de la temperatura externa del edificio. (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.24).

El cálculo de la distancia entre juntas de expansión es determinado utilizando la siguiente guía empírica en conjunto con la Figura 3.4.

- a) Si dos segmentos de un edificio convergen sobre un punto que tenga rigidez simétrica, solamente la mitad del cambio dimensional de cada segmento afectará a la junta de expansión, Figura 3.4a (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.28).

$$L = \frac{1}{2}(L1 + L2) \quad (3-8)$$

- b) Si cualquiera de los segmentos posee un extremo substancialmente más rígido que el otro, el cambio dimensional resultante por fluctuación de temperatura será distribuido desproporcionalmente entre los dos extremos de cada segmento dependiendo de la rigidez que posea cada uno (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.28).

$$L = \frac{1}{2}(KL1 + L2) \quad (3-9)$$

K=1.5, si el extremo más rígido se encuentra más alejada de la junta o punto de convergencia entre los dos segmentos, como se evidencia en la Figura 3.4b.

K=0.67, si el extremo más rígido se encuentra más cerca de la junta o punto de convergencia entre los dos segmentos, como se evidencia en la Figura 3.4c.

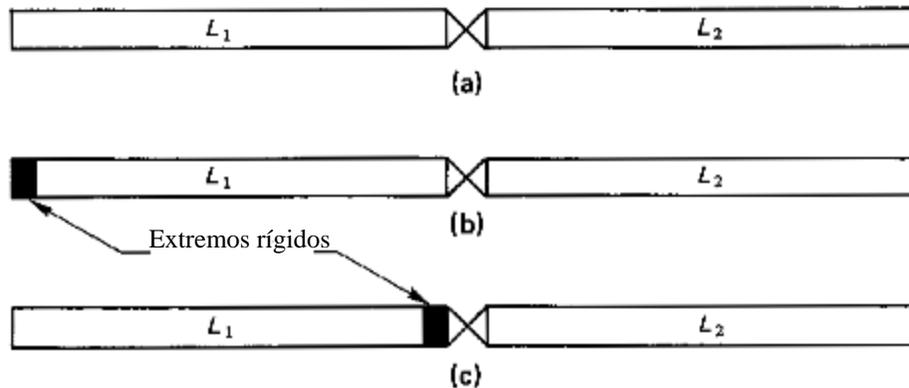


Figura 13. Longitud de junta de expansión entre dos segmentos contiguos.

Fuente: The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.28.

Si por ejemplo se tiene una losa la cual mantiene su misma sección transversal y propiedades, esta posee una sola rigidez constante y simétrica, para lo cual aplica el caso de la figura 3.4a. Si, por el contrario, se tiene un nivel en el cual existen dos tipos de losa (una maciza y la otra aligerada), éstas poseen rigidez asimétrica porque son dos losas totalmente diferentes con propiedades distintas para lo cual aplica el caso de la figura 3.4b o 3.4c.

3.3.2.1 Dimensionamiento de la junta de expansión por el método analítico. El ancho de la junta de expansión o límite superior, UB (upper bound), dependerá del coeficiente de expansión térmica del material, del máximo cambio de temperatura, y de la longitud efectiva calculada en las ecuaciones (3-8) y (3-9) (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.27).

El ancho de la junta de expansión deberá sobrepasar el máximo incremento del cambio dimensional, ΔL , para prevenir el cierre completo de la junta y tener más espacio para el material sellante (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.27).

$$UB = \alpha * C \Delta T_e * L \quad (3-10)$$

$$\Delta T_e = T_w - T_m \quad (3-11)$$

α = coeficiente de expansión térmica del concreto. $5.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}$ o $9.9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$.

ΔT_e = el cambio máximo de temperatura.

L = longitud efectiva calculada con la ecuación (3-8) o (3-9) según corresponda el caso.

C = coeficiente de disminución de temperatura descrito en la sección 3.3.2.

El incremento máximo del cambio dimensional, ΔL , se calcula de la siguiente forma (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.26):

$$\Delta L = \Delta L_t - \Delta L_f \quad (3-12)$$

$$\Delta L_t = \alpha * \Delta T * L. \quad (3-13)$$

$\Delta T = (T_w - T_m)$ o $(T_m - T_c)$; el mayor de los dos, ecuación (3-4).

El cambio de longitud en dirección opuesta causada por el cambio de longitud del elemento debido a la aplicación de fuerza, ΔL_f , se calcula de la siguiente manera (The National Academy of science, Technical report No 65. 1974. p.25):

$$\Delta L_f = \frac{F * L}{A * E} \quad (3-14)$$

ΔL_f = cambio de longitud en dirección opuesta.

F = fuerza axial que actúa sobre el elemento.

L = longitud efectiva obtenida de las ecuaciones (3-8) y

(3-9) según el caso correspondiente.

A = área de la sección transversal.

E = módulo de elasticidad.

A continuación, se presenta un ejercicio de aplicación.

Un almacén de 6.1 m de altura (240 in) se construirá en Bucaramanga, Colombia. El edificio será de concreto reforzado y tendrá un área de $64 \times 109.73 \text{ m}$ ($2520 \times 4320 \text{ in}$). Las columnas están espaciadas cada 9.144 m (360 in). El edificio posee las siguientes especificaciones:

Resistencia a compresión de las columnas y vigas: 28 Mpa (4000 Psi).

Resistencia a compresión de la losa: 21 Mpa (3000 Psi).

Espesor de la losa de concreto: 0.127 m (5 in).

Sección transversal de las vigas interiores y exteriores: 0.356 m x 0.508 m (14 in x 20 in).

Sección transversal columnas: 0.356 m x 0.356 m. (14 in x 14 in).

Área de losa: 64 mx 109.73 m (2520 in x 4320 in)

Usando cada uno de los tres métodos descritos, determinar la máxima longitud en la cual se puede fundir la losa sin colocar junta de expansión.

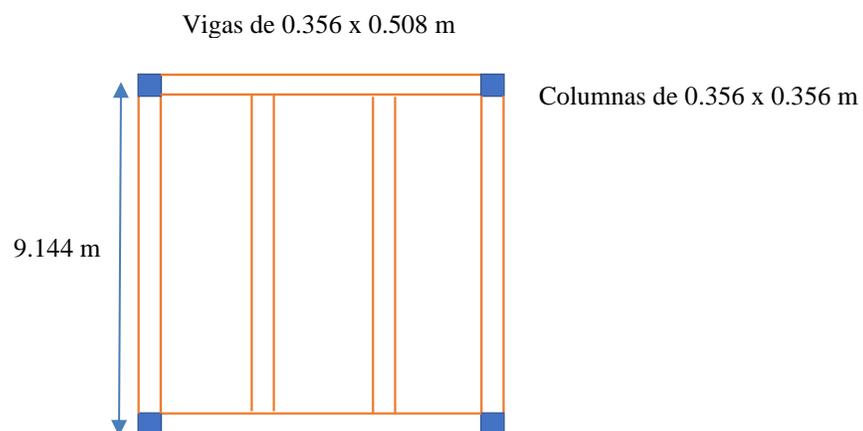


Figura 14. Sección típica plano en planta paño esquinero.

Solución:

se procede a calcular la longitud a la cual debe estar separada las juntas de expansión entre sí.

Fundir la losa a una distancia menor a la calculada permitirá el no uso de las juntas de expansión.

3.3.2.2 Método de la regla general. De la figura 3.1 se obtiene que el espaciamiento entre juntas de expansión debe ser de:

Billig (1960): 30 metros

India standards institution (1964): 45 metros

PCA (1982): 60 m

Kaminetsky (2001): 30 metros

L= 30 metros

Lo anterior significa que cada 30 metros que se funda de losa, se necesita colocar una junta de expansión. Para evitar la instalación de la junta, se funde en longitudes más pequeñas.

Martín y Acosta (1970):

$$I_c \text{ (inercia de la columna): } \frac{axb^3}{12} = \frac{14x14^3}{12} = 3201 \text{ in}^4$$

$$I_b \text{ (inercia de la viga): } \frac{axb^3}{12} = \frac{14x20^3}{12} = 9333.33 \text{ in}^4$$

$$K_c \text{ (factor de rigidez de la columna): } \frac{I_c}{h} = \frac{3201}{240} = 13.34 \text{ in}^3$$

$$K_b \text{ (factor de rigidez de la viga): } \frac{I_b}{L} = \frac{9333.333}{360} = 25.93 \text{ in}^3$$

$$r \text{ (relación factor de rigidez columna-viga): } \frac{K_c}{K_b} = \frac{13.34}{25.93} = 0.51$$

De la ecuación (3-1) el cual corresponde al diseño por cambio de temperatura se obtiene:

$$T_{\max} \text{ Bucaramanga} = 78.8 \text{ }^\circ\text{F} \text{ ó } 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\min} \text{ Bucaramanga} = 66.2 \text{ }^\circ\text{F} \text{ ó } 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 30 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = \frac{2}{3} * (78.8 - 66.2) + 30 = 38.4 \text{ }^\circ\text{F}$$

De la ecuación (3-3) se calcula el parámetro R:

$$R = 144 * \frac{3201}{240^2} * \frac{(1+0.51)}{(1+2*0.51)} = 6$$

De la ecuación (3-2) se calcula la distancia de espaciamiento de la junta.

$$L_j = \frac{112000}{6 \cdot 38.4} \quad ; \quad L_j \max \leq \frac{2000 \cdot 240}{38.4}$$

$$L_j = 486.11 \text{ in}; \quad L_j \max \leq 12500 \text{ in}$$

$$L_j = 12.35 \text{ m}; \quad L_j \max \leq 317.5 \text{ m}$$

La distancia de espaciamiento entre juntas de expansión por el método de Martin y Acosta es de 486.11 in ó 12.35 metros. Es decir que cada 12.35 m que se funda de losa, se necesitará colocar una junta de expansión. Para evitar la instalación de la junta de expansión, se funde en un rango menor al obtenido por este método y para evitar la construcción de la junta de contracción, es necesario curar constantemente el concreto durante las primeras semanas.

3.3.2.3 Método aproximado de National Academy of Science (NAS): Tomando la ecuación (3-4), diseño por cambio de temperatura, se obtiene:

$$\Delta T = (T_w - T_m) \text{ o } (T_m - T_c)$$

$$T_w \text{ (temperatura máxima en verano)} = 78.8 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_m \text{ (temperatura en la zona de construcción)} = 71.6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_c \text{ (temperatura mínima en invierno)} = 66.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (T_w - T_m) = 78.8 - 71.6 = 7.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = (T_m - T_c) = 71.6 - 66.2 = 5.4$$

$$\Delta T = 7.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Como el edificio estará sometido a temperaturas normales (edificio ventilado o que tendrá aires acondicionados en algún futuro) y usando la Figura 3.3, la distancia entre juntas de expansión es:

$$L = 200 \text{ pies } \text{ ó } L = 61 \text{ metros}$$

3.3.2.4 Método analítico de National Academy of Science (NAS): Utilizando la metodología de la sección 3.3.2. y 3.3.2.1 se puede calcular la longitud entre juntas de expansión del almacén y el dimensionamiento de ésta. Aunque el dimensionamiento no hace parte del alcance del presente proyecto de grado, se aborda el tema para que el ejercicio esté más completo.

Luego de fundir la losa, la carga que está actuando es la que se debe al peso propio del material y durante el proceso de fraguado el concreto comienza a contraerse por la pérdida de agua, para lo cual se inicia el proceso de curado del concreto para evitar esta pérdida de agua. Finalizado el proceso anterior se procede a aplicar las cargas sobre impuestas ocasionando un cambio de longitud del elemento, pero también se genera un cambio de longitud en dirección opuesta debido a la restricción que posee el elemento debido a su rigidez, limitando de esta manera los movimientos horizontales y verticales.

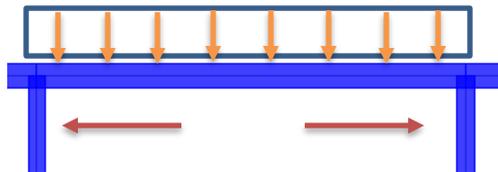


Figura 15. Restricción de movimientos horizontales debido a la rigidez.

Lo primero que se debe analizar es el sentido en el que la junta estará localizada de acuerdo a la rigidez que posee la estructura.

En la Figura 3.7, se puede apreciar que existe una rigidez mayor en el sentido longitudinal de la estructura que en el sentido transversal, lo que significa que existe más restricción de movimiento en el sentido longitudinal. La junta entonces estará localizada en el sentido transversal.

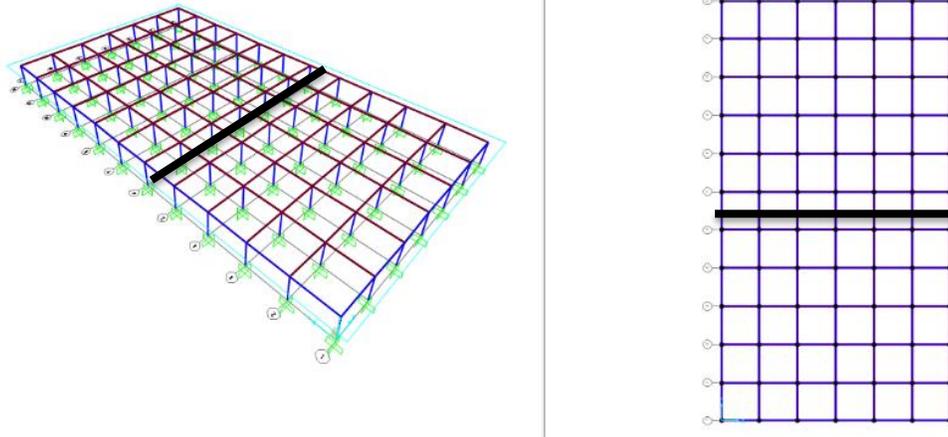


Figura 16. Localización de la junta de expansión.

Para calcular la distancia de la junta de expansión, se usa la ecuación (3-8), ya que no se presenta cambio de rigidez en la losa al poseer una misma sección y sus propiedades se mantienen.

$$L = \frac{1}{2}(L1 + L2)$$

$$L = \frac{4320+0}{2}$$

$$L = 2160 \text{ in}$$

$$L = 55 \text{ m}$$

Para calcular el ancho de la junta de expansión se procede de la siguiente manera.

$$UB = \alpha * C \Delta T_e * L \quad (3-10)$$

$$\Delta T_e = T_w - T_m \quad (3-11)$$

Aplicando la ecuación (3-11) se tiene:

$$T_w \text{ (temperatura máxima en verano)} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_m \text{ (temperatura en la zona de construcción)} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_e = (T_w - T_m) = 26 - 23 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación (3-10) se tiene:

$$UB = \alpha * C \Delta T e * L$$

$$UB = 9.9 \times 10^{-6} * 1 * 3 * 55 \text{ m}$$

$$UB = 0.001634 \text{ m}$$

$$UB = 1.634 \text{ mm}$$

El ancho de la junta de expansión deberá sobrepasar el máximo incremento del cambio dimensional, ΔL .

$$\Delta L = \Delta L_t - \Delta L_f \quad (3-12)$$

$$\Delta L_t = \alpha * \Delta T * L. \quad (3-13)$$

$$\Delta L_f = \frac{F * L}{A * E} \quad (3-14)$$

ΔL_f = cambio de longitud en dirección opuesta

F = fuerza axial que actúa sobre el elemento.

L = longitud efectiva obtenida de las ecuaciones (3-8) y (3-9) según el caso correspondiente.

A = área de la sección transversal.

E = módulo de elasticidad.

Para lo anterior, se realiza un modelo en el programa SAP2000 para calcular los desplazamientos y esfuerzos actuantes teniendo en cuenta las siguientes combinaciones de carga dispuestas por la NSR-10:

Combinación de servicio: D+L

Combinación por resistencia: 1.2D+1.6L

Combinación con afectación de cambio de temperatura: 1.2D+1.6L+1.2T

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA USANDO SAP2000:**1. CARGAS MUERTAS**

Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero = 1.10 KN/m²

Pañete de yeso o concreto = 0.25 KN/m²

Cubierta (membrana impermeable con tela asfáltica) = 0.25 KN/m²

Total = 1.4 KN/m²

2. CARGAS VIVAS

Carga viva por uso de almacén = 6 KN/m²

3. VARIACION DE TEMPERATURA

Usando la ecuación (3-4)

$$\Delta T = (T_w - T_m) = 26 - 23 = 3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (T_m - T_c) = 23 - 19 = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. MODELADO DE LA ESTRUCTURA EN SAP2000

En el programa SAP2000 se modela la estructura con las condiciones iniciales y propiedades de los materiales del ejercicio. Como las unidades están en el sistema inglés, la estructura se ingresa con unidades inglesas y al finalizar el ingreso de los elementos se cambia las unidades de trabajo en el programa. De esta manera, el software tendrá en cuenta los decimales que resulten de la conversión de medidas y los resultados serán más exactos.

Resistencia a compresión de las columnas y vigas: 28 MPa (4000 Psi).

Resistencia a compresión de la losa: 21 MPa (3000 psi).

Espesor de la losa de concreto: 0.127 m (5 in).

Sección transversal de las vigas interiores y exteriores: 0.356 m x 0.508 m (14 in x 20 in).

Sección transversal columnas: 0.356 mm x 0.356 mm (14 in x 14 in).

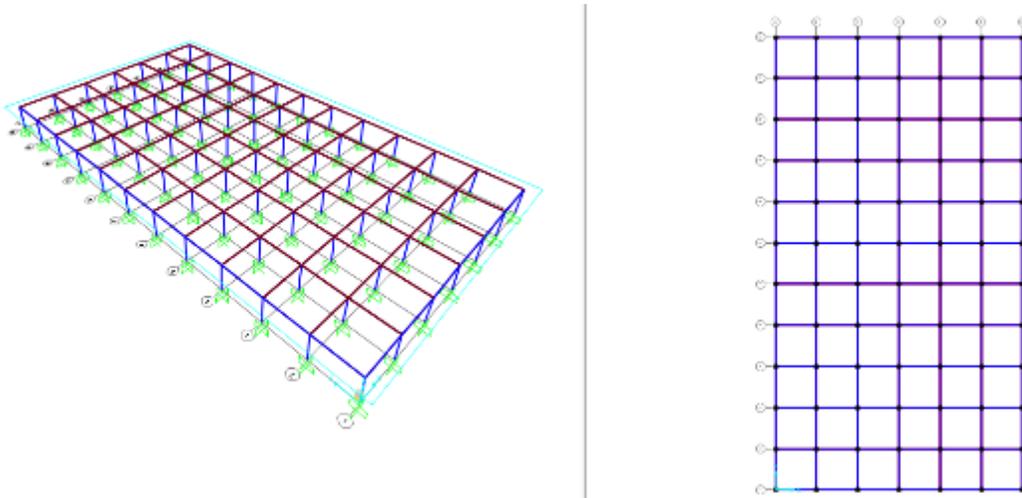


Figura 17. Modelamiento de la estructura en el programa SAP2000.

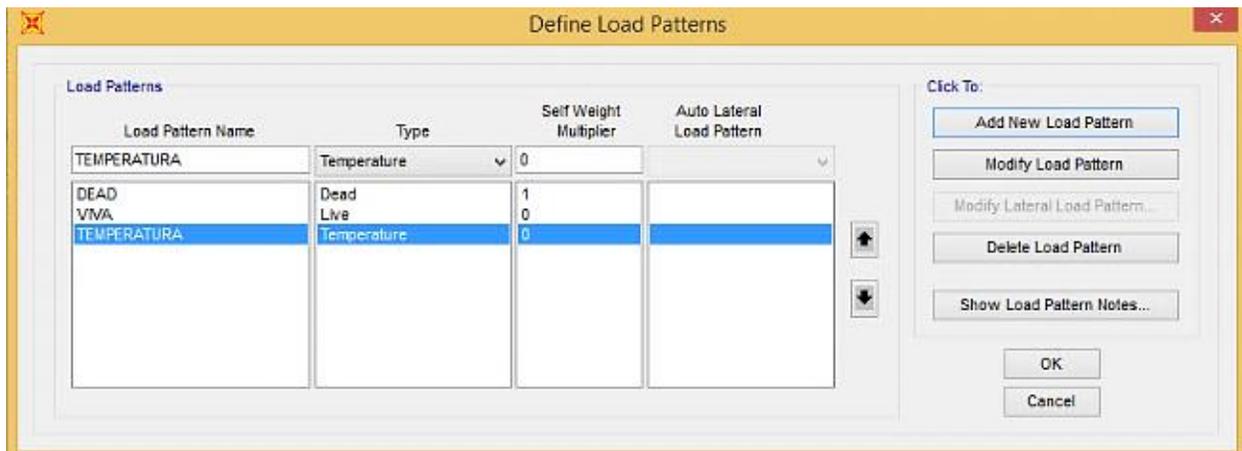


Figura 18. Patrones de carga en SAP2000.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.
DEAD	Linear Static	1.
VIVA	Linear Static	1.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.2
DEAD	Linear Static	1.2
VIVA	Linear Static	1.6

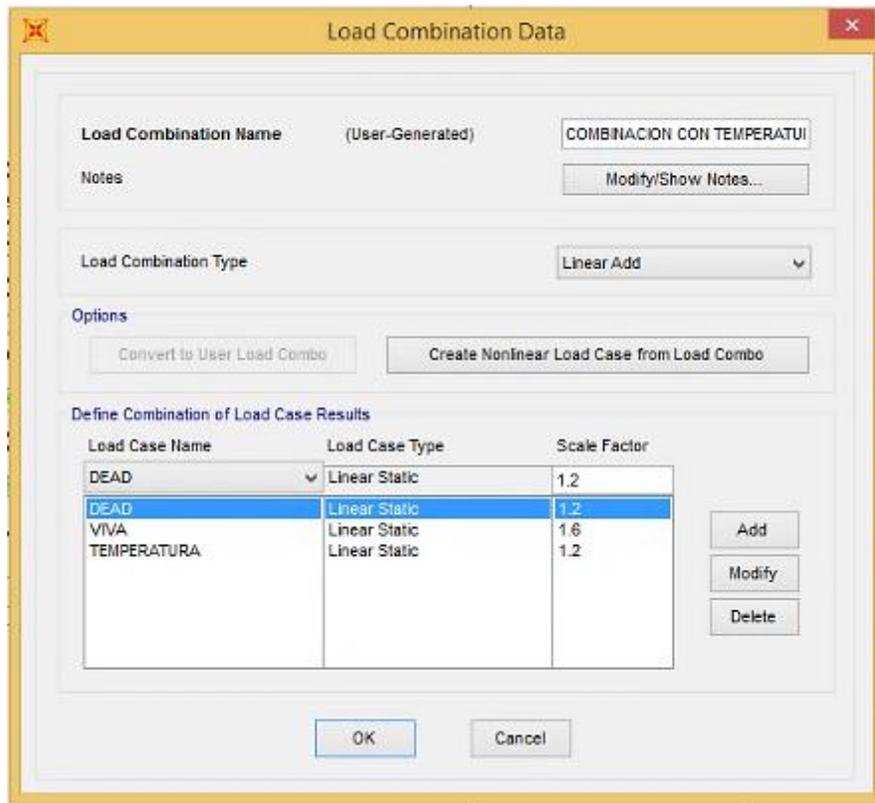


Figura 19. Ingreso de combinaciones de carga en SAP2000.

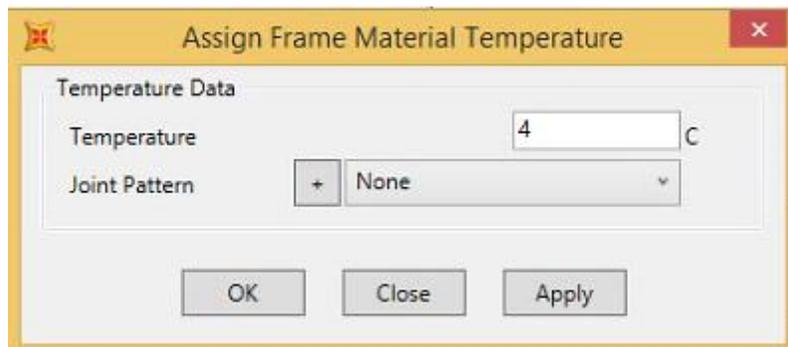


Figura 20. Ingreso de cambio de temperatura en elementos frame.

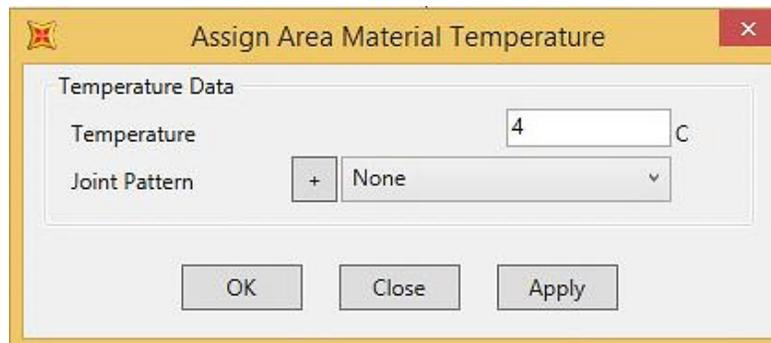


Figura 21. Ingreso de cambio de temperatura en elementos shell.

La ciudad de Bucaramanga posee una humedad relativa que oscila entre el 80% y el 85% (IDEAM, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>) y cuyo valor utilizado para el presente proyecto de grado es del 82% por ser un valor intermedio. En la Figura 3.13 se puede observar el ingreso de los datos necesarios para que el software tenga en cuenta el efecto de retracción para el análisis de los desplazamientos horizontales usando la metodología planteada en el código ACI 209R-92.

The screenshot shows a software dialog box titled "Time Dependent Properties for Concrete". It is divided into several sections for data entry:

- Material Name:** 3000 psi
- Material Type:** Concrete
- Symmetry Type:** Isotropic
- Time Dependent Type:** ACI 209R-92
- Units:** KN, m, C
- Time Dependence Considered For:**
 - Compressive Strength and Stiffness (Modulus of Elasticity) with a Factor of 1
 - Creep with a Factor of 1
 - Shrinkage with a Factor of 1
- Creep Analysis Type:** Full Integration (selected)
- ACI 209R-92 Parameters:**
 - Relative Humidity, %: 82
 - Shrinkage Start Age, days: 0
 - Compressive Strength Factor, a: 4
 - Compressive Strength Factor, Beta: 0.85
 - Curing Type: Moist
 - Slump: 0
 - Fine Aggregate Percentage, %: 0
 - Air Content, %: 0
 - Cement Content, lb/yd3: 0

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "Show Plot...", "OK", and "Cancel".

Figura 22. Ingreso de datos correspondientes a la retracción y a la fluencia.

Al realizar el análisis de la estructura se obtiene los desplazamientos y esfuerzos actuantes para cada combinación de carga ingresada, de los cuales se usarán los valores máximos para el desarrollo del presente ejercicio. En la Tabla 3.3, se evidencia que los desplazamientos en el sentido longitudinal de la estructura son menores a los desplazamientos en el sentido transversal, lo cual indica que la estructura es más rígida en el sentido longitudinal y con más restricción de movimientos. También se puede evidenciar que la deformación de los elementos aumenta cuando se tiene en cuenta la variación de temperatura, pero no en gran medida.

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
85	COMBO DE SERVICIO	Combination	0.00220900	0.00332300	0.83600000
96	COMBO DE SERVICIO	Combination	0.00220900	-0.00332300	0.83600000
157	COMBO DE SERVICIO	Combination	-0.00220900	0.00332300	0.83600000
168	COMBO DE SERVICIO	Combination	-0.00220900	-0.00332300	0.83600000
85	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	0.00231200	0.00334100	1.35500000
96	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	0.00231200	-0.00334100	1.35500000
157	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-0.00231200	0.00334100	1.35500000
168	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-0.00231200	-0.00334100	1.35500000
85	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	0.00598200	0.00743400	1.57300000
96	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	0.00598200	-0.00743400	1.57300000
157	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-0.00598200	0.00743400	1.57300000
168	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-0.00598200	-0.00743400	1.57300000

Figura 23. Desplazamientos máximos para cada combinación de carga.

En la Tabla 3.4 se observa los esfuerzos máximos y mínimos para el elemento losa obtenidas para cada combinación de carga en los nodos de máximo desplazamiento. Se evidencia que los resultados obtenidos con la combinación de resistencia son iguales a los de la combinación por temperatura debido a que la variación de temperatura solo afecta al cambio de longitud y deformación del elemento estructural.

TABLE: Element Stresses - Area Shells									
Area	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	S11Top	S22Top	S12Top	SMaxTop	SMinTop
Text	Text	Text	Text	Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
1	Membrane	85	COMBO DE SERVICIO	Combination	-3.12	-3.12	-0.79	-2.33	-3.9
11	Membrane	96	COMBO DE SERVICIO	Combination	-3.12	-3.12	0.79	-2.33	-3.9
56	Membrane	157	COMBO DE SERVICIO	Combination	-3.12	-3.12	0.79	-2.33	-3.9
66	Membrane	168	COMBO DE SERVICIO	Combination	-3.12	-3.12	-0.79	-2.33	-3.9
1	Membrane	85	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-3.54	-3.53	-0.94	-2.59	-4.48
11	Membrane	96	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-3.54	-3.53	0.94	-2.59	-4.48
56	Membrane	157	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-3.54	-3.53	0.94	-2.59	-4.48
66	Membrane	168	COMBO DE RESISTENCIA	Combination	-3.54	-3.53	-0.94	-2.59	-4.48
1	Membrane	85	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-3.54	-3.53	-0.94	-2.59	-4.48
11	Membrane	96	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-3.54	-3.53	0.94	-2.59	-4.48
56	Membrane	157	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-3.54	-3.53	0.94	-2.59	-4.48
66	Membrane	168	COMBINACION CON TEMPERATURA	Combination	-3.54	-3.53	-0.94	-2.59	-4.48

Figura 24. Esfuerzos máximos y mínimos del elemento shell.

De la ecuación (3-14):

$$\Delta L_f = \frac{F * L}{A * E} \quad (3-14)$$

ΔL_f = cambio de longitud en dirección opuesta

Área sección transversal paño de losa = $360 \times 5 = 1800 \text{ in}^2$.

Área sección transversal paño de losa = $9.144 \times 0.127 = 1.1613 \text{ m}^2$.

Fuerza = $2.59 \times 9.144 * 9.144 = 216.54 \text{ Kn}$

$L = 55 \text{ m}$.

E (módulo de elasticidad) = 17872045 Kn/m^2 .

$$\Delta L_f = \frac{216.54 * 55}{1.16 * 17872045}$$

$\Delta L_f = 0.0006 \text{ m}$

De la ecuación (3-13):

$$\Delta L_t = \alpha * \Delta T * L. \quad (3-13)$$

$\Delta T = (T_w - T_m) = 26 - 23 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta T = (T_m - T_c) = 23 - 19 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta T = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta L_t = 9.9 \times 10^{-6} * 4 * 55$

$\Delta L_t = 0.002178 \text{ m}$

De (3-12):

$\Delta L = \Delta L_t - \Delta L_f$

$\Delta L = 0.002178 - 0.0006$

$\Delta L = 0.001578 \text{ m}$

$\Delta L = 1.578 \text{ mm}$

UB debe ser mayor a ΔL

1.634 mm > 1.578 mm CUMPLE

Según la American Concrete Institute, ACI 224. 1995, las juntas están entre 25 a 150 mm siendo las juntas de 50 mm las más comunes. Por lo tanto, el ancho de la junta será de 50 mm.

PREDICCIÓN DE LA RETRACCIÓN Y FLUENCIA (SHRINKAGE AND CREEP)

Para el cálculo de la predicción de la retracción del concreto y fluencia plástica del ejercicio, se ha empleado el código ACI 209R-92. Los factores de corrección γ_s , γ_p , γ_c , γ_a no se tendrán en cuenta debido a que estos dependen de características del material que solo se pueden obtener en laboratorio. Lo anterior también aplica para los factores de corrección γ_s , γ_p , γ_a usados para el cálculo del coeficiente de fluencia último.

En la Figura 3.16 se listan los datos iniciales que se necesitan para el cálculo de la predicción de la retracción del concreto. En la Figura 3.17 se puede observar los resultados obtenidos y la gráfica de resultados en la Figura 3.18.

Datos para el cálculo de la predicción de la retracción en el concreto

DATOS INICIALES RETRACCION		ECUACION
Humedad relativa λ (%)=	82	IDEAM
Factor de correccion γ_λ =	0.54	(2-6)
Factor de correccion γ_{vs} =	1.08	figura 2.3
Factor de correccion γ_{sh} =	0.5832	(2-4)
$(\epsilon_{sh})_u$ =	0.0004549	(2-3)

Figura 25. Datos iniciales para el cálculo de la retracción en el concreto.

RETRACCION DEL CONCRETO			RELACION $\epsilon_{sh}(t)/(\epsilon_{sh})_u$, figura 2.4
días	$\epsilon_{sh}(t)=$	ECUACION	
7	0.000075816	(2-1)	0.17
30	0.000209952	(2-1)	0.46
90	0.000327525	(2-1)	0.72
180	0.000380843	(2-1)	0.84
365	0.000415093	(2-1)	0.91
730	0.000434084	(2-1)	0.95
1825	0.000446336	(2-1)	0.98
3650	0.000450575	(2-1)	0.99
7300	0.000452725	(2-1)	1.00

Figura 26. Retracción en el concreto para determinados días.

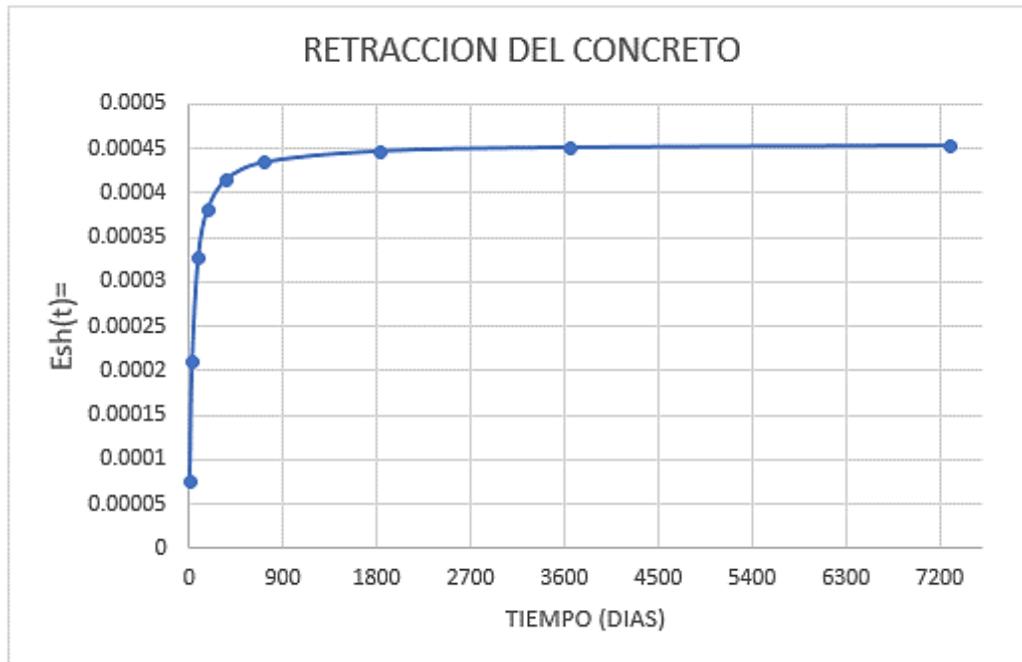


Figura 27. Grafica días vs retracción.

Datos para cálculo de la predicción del creep en el concreto

En la Figura 3.19 se listan los datos iniciales que se necesitan para el cálculo de la predicción de la fluencia del concreto. En la Figura 3.20 se puede observar los resultados obtenidos y la gráfica de resultados en la Figura 3.21

DATOS INICIALES FLUENCIA		ECUACION
Humedad relativa λ (%)=	82	IDEAM
Factor de correccion γ_λ =	0.7206	(2-20)
Factor de correccion γ_{vs} =	1.04	figura 2.3

FACTOR DE CORRECCION γ_{ia} =		FACTOR DE CORRECCION γ_{ic} =		ECUACION	COEFICIENTE DE FLUENCIA ULTIMO V_u	ECUACION
días	γ_{ia}	ECUACION	γ_{ic}		V_u	
7	0.994	(2-18)	0.745	(2-17)	1.750	(2-16)
30	0.837	(2-18)	0.627	(2-17)	1.474	(2-16)
90	0.735	(2-18)	0.551	(2-17)	1.295	(2-16)
180	0.677	(2-18)	0.508	(2-17)	1.193	(2-16)
365	0.623	(2-18)	0.467	(2-17)	1.097	(2-16)
730	0.574	(2-18)	0.430	(2-17)	1.011	(2-16)
1825	0.515	(2-18)	0.386	(2-17)	0.908	(2-16)
3650	0.475	(2-18)	0.356	(2-17)	0.836	(2-16)
7300	0.438	(2-18)	0.328	(2-17)	0.771	(2-16)

Figura 28. Datos iniciales para el cálculo de la fluencia en el concreto.

FLUENCIA DEL CONCRETO V_t			RELACION V_t/V_u , figura 2.5
días	V_t	ECUACION	
7	0.426	(2-15)	0.243
30	0.641	(2-15)	0.435
90	0.774	(2-15)	0.598
180	0.826	(2-15)	0.693
365	0.851	(2-15)	0.775
730	0.849	(2-15)	0.839
1825	0.817	(2-15)	0.901
3650	0.779	(2-15)	0.932
7300	0.735	(2-15)	0.954

Figura 29. Fluencia del concreto para determinados días.

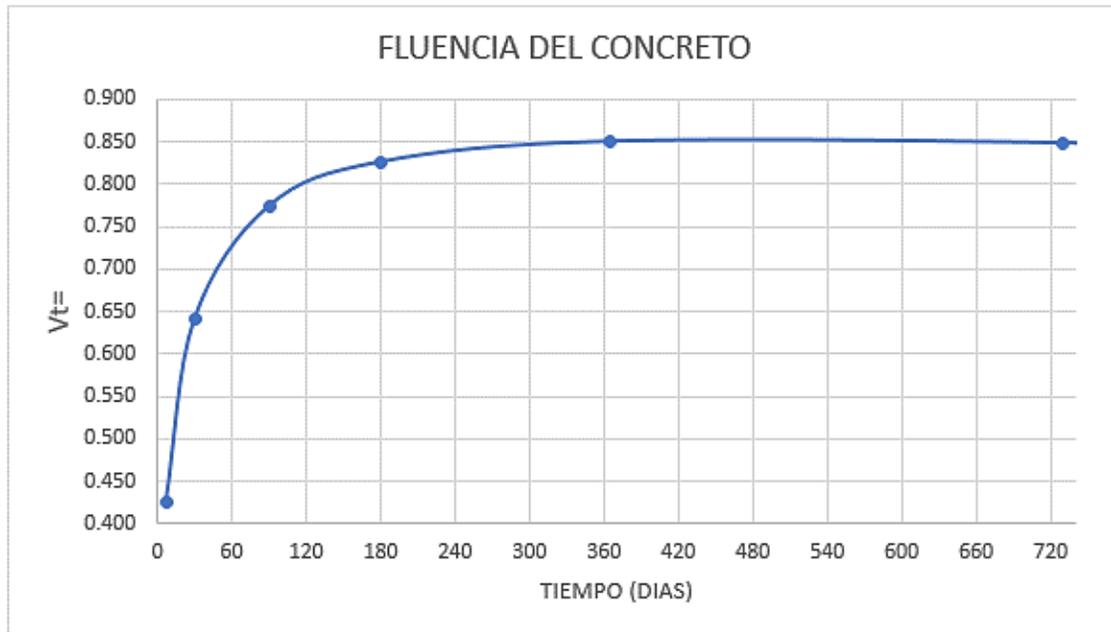


Figura 30. Grafica días vs fluencia.

De las Figuras 3.18 y 3.21 se puede observar el comportamiento que tendrá la retracción y la fluencia en el concreto en los periodos de tiempo analizados.

En resumen, se tiene lo siguiente:

Método regla general: $L= 30$ metros

Método Martín y Acosta: $L= 11$ metros

Método aproximado National Academy of Science: $L= 61$ metros

Método analítico National Academy of Science: $L= 55$ metros

Se puede apreciar que el método de Martín y Acosta es muy conservador, por lo que se sugiere descartar este resultado. Promediando los valores obtenidos por el método aproximado de la NAS, la regla general y el método analítico, se obtiene una longitud de 50 metros. Para evitar la instalación de la junta de expansión, se recomienda fundir la losa en longitudes menores a 50 m.

El procedimiento a seguir si el edificio tuviera más pisos sería el mismo, con la diferencia de que el método de Martin y Acosta no se podría aplicar, ya que este método solo funciona para estructuras de un solo piso.

4. Conclusiones

- Se pueden construir elementos de concreto sin necesidad de usar juntas de expansión usando cualquiera de los métodos mencionados, tomando valores que estén por debajo del cálculo de la longitud entre juntas de expansión lo cual representa a la máxima longitud que se puede fundir sin usarlas.
- El método aproximado propuesto por la SCSE y la NAS para calcular la distancia entre juntas solo involucra los diferenciales de temperatura que existen en la zona de construcción del edificio y las condiciones térmicas a la cual estará sometida la estructura.
- Aun usando el método analítico, éste no deja de ser empírico ya que el uso del coeficiente de reducción de temperatura C mencionado en la sección 3.3.2 se origina a partir de la experiencia.
- Usando una relación agua/cemento baja, se obtiene una mezcla más consistente y menos susceptible a cambios volumétricos debido a la retracción evitando así la formación de fisuras y la implementación de juntas de expansión, sin embargo, la manejabilidad de la mezcla se reduce significativamente. Para evitar lo anterior, se pueden usar aditivos superplastificantes pero siempre teniendo en cuenta el factor costo.

- El método analítico solo está limitado a movimientos horizontales. Si se desea tener en cuenta los movimientos verticales como lo es la deformación del elemento en concreto, se debe realizar nuevos estudios para desarrollar una nueva metodología.
- En la gráfica 3.19, se puede apreciar que la losa alcanzará su punto máximo de fluencia en los primeros 60 días (2 meses). Pasado este tiempo, la fluencia comienza a descender hasta llegar a un punto estable.
- En la gráfica 3.22, se puede apreciar que la losa alcanzará un punto estable a los 7300 días, es decir a los 20 años y que, a partir de este tiempo, la retracción del concreto será mínima.

Referencias Bibliográficas

- ACI Committee 209R-08. (2008). Guide for modeling and calculating shrinkage and creep in hardened concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, 1-48 pp.
- ACI Committee 209R-92. (1992). Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, 1-47 pp.
- ACI Committee 224, (1995) Joints in Concrete Construction, ACI 224R.3R-95, American Concrete Institute. Farmington Hills, MI, , pp. 1-44.
- ACI Committee 302. (1989). Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI 302.1R-89. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 45 pp.
- Agredo Chávez, H. D. (2014) Verificación de la permeabilidad del concreto de 2500 psi con adiciones de ceniza como porcentaje del cemento. Tesis de ingeniería civil. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Arthur P. Borest and Richard J. (2003) Schmidt. Advanced mechanics of materials. sixth edition. John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.
- Asocreto. (2003) Concreto arquitectónico, como obtener un buen acabado. Colección básica del concreto. Bogotá.
- ASTM C 157 / C 157M - 08. (2008). Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete. American Society for Testing and Materials.
- ASTM International, (2017) Standard specification for Portland cement, ASTM C150/C150M - 17, pp. 1-9.

- ASTM International, (2016) Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates, ASTM C125 - 16, pp. 1-8.
- Billig, K. (1960). Expansion joints. In *Structural Concrete*, Macmillan, London, pp. 962–965.
- Camille A. Issa, Nagib N. Gerges, and Samer Fawaz. (s.f.) The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture. Case studies in construction materials. University of Balamand.
- David A. Fanella.(2016) Reinforced concrete structures: Analisis and design. Second edition. Chapter: materials McGraw-Hill profesional,, Acces engineering.
- Gracia Alarcón, O.A. and Quesada Bolaños, G. (2012) Evaluación de una alternativa para la construcción de pisos industriales de gran formato en Colombia. Universidad Pontificia Javeriana.
- Gray, David C., and Darwin, David (1984) “Expansion and Contraction Joints in Reinforced Concrete Buildings — An Annotated Bibliography,” SM Report No. 14, University of Kansas Center for Research, Lawrence, KS, Dec.
- Handbook of Fundamentals, (1981)American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Hermida, G.; Gonzales, J.; Romero A. (s.f.) Agrieto Luego existo, la retracción del concreto.
- Hunter, L.E.(1953), “Construction and Expansion Joints for Concrete,” *Civil Engineering and Public Works Review*, V. 48, No. 560, Feb. 1953, pp. 157-158, and V. 48, No. 561, Mar. pp. 263-265.
- James M. Fisher, S.E. Expansion joints: where, when and how. The Steel conference. Modern Steel construction. April 2005.
- Lewerenz, A.C. (1907), “Notes on Expansion and Contraction of Concrete Structures,” *Engineering News*, V. 57, No. 19, May 9, pp. 512-514.

- Madrid Zuluaga, C. (2014). Caracterización de adiciones de cao para desarrollar hormigones de retracción compensada. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mann, O. Clarke, (1970) "Expansion-Contraction Joint Locations in Concrete Structures," Designing for the Effects of Creep, Shrinkage, and Temperature in Concrete Structures, SP-27, American Concrete Institute, Detroit, pp. 301-322.
- Matthew D. Brady (2011), Expansion joint considerations for buildings. Modern Steel Construction Magazine. May.
- Merril, W. S., (1943) "Prevention and Control of Cracking in Reinforced Concrete Buildings," Engineering News-Record, V. 131, No. 23, Dec. 16, pp. 91-93.
- Michael J. Pfeiffer and David Darwin. (s.f.) Joint design in reinforced concrete buildings. Report on research sponsored. The university of Kansas. Structural engineering and materials laboratory.
- Mohammad Iqbal (2010), Design of expansión joints in parking structures. Structure Magazine. October.
- Nawy. E.G. (s.f.) Chapter 17, joints in concrete construction. Concrete construction engineering handbook, Oxford: Taylor and Francis.
- Ortiz S. D. (2015) Efectos de la deformación del creep en columnas de concreto. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.
- Portland Cement Association, (1975a), Basic Concrete Construction Practices, John Wiley & Sons, Inc., New York, 468 pp.
- Proper (1992) Use of Isolation and Expansion Joints in Concrete Pavements, Publication IS 060, Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- Ruiz A. and Cabello López (s.f.). Hormigones especiales. La deformación diferida en el hormigón autocompactante. Resultados experimentales y análisis de modelos de predicción. Universidad Politécnica de Madrid.

Sanchez de Guzman, D. (s.f.) Tecnología y propiedades del concreto. Tercera edición. Capítulo 2. Bogotá.

The national academies. (1974) Expansion joints in buildings: Technical report No 65. National Academy of Sciences. Washington, D.C.

Urtubey E. and Lorefice R. (2005) Reología del hormigón- fluencia básica, estado del arte- propuesta de simulación numérica. Universidad Nacional Santiago de Estero UNSE. Argentina. pp 1-17.

Varyani, V.H., and Radhaji, A. (1978), “Analysis of Long Concrete Buildings for Temperature and Shrinkage Effects,” Journal of the Institution of Engineers (India), V. 59, Part CI 1, July, pp. 20-30.

Wenjun He. (2013) Creep and shrinkage of high performance concrete prediction of the long-term camber of prestressed bridge girders. Iowa State University. Ames, Iowa..