



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
ANDRÉS BELLO**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN DE FISURAS Y FLECHAS EN
ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

**Como parte de los requisitos para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR

Arana Rodríguez, Daniel Alejandro

PROFESOR GUIA

Velásquez Flores, José Manuel

FECHA

Abril de 2011

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, por apoyarme siempre durante mis estudios y mi vida entera, en momentos buenos y en los no tan buenos. Gracias por su paciencia, confianza, dedicación y amor.

A Daniela e Isabella, mis dos grandes amores. Gracias por toda la alegría y el amor incondicional que le han dado a mi vida.

Por último, agradezco al ingeniero José Manuel Velásquez, por todo su apoyo y guía durante la realización de este trabajo, pero más importante aún, por su invaluable dedicación y vocación a la enseñanza de la ingeniería estructural.

RESUMEN

En la construcción de edificaciones es conocido el amplio uso que tiene el concreto armado, siendo este tipo de edificación una de las más frecuentes y conocidas en el diseño estructural. Durante el tiempo de su vida útil los elementos (vigas, columnas, losas etc.) que conforman estas estructuras pueden presentar problemas, básicamente de carácter estético o funcional. Estos pueden ser producto de distintas causas que van desde errores de diseño hasta el desgaste ante las condiciones a las cuales son sometidos dichos elementos, entre estos problemas se encuentran la fisuración y las flechas excesivas.

En este trabajo se estudia la fisuración y flecha en elementos de concreto armado principalmente en vigas y losas, evaluando los factores que influyen en su ocurrencia, medidas para reducir o evitar sus efectos y patrones característicos para reconocer y diferenciar distintos tipos de fenómenos que causan estos problemas.

Se realiza un estudio de las teorías y métodos utilizados para predecir y limitar la anchura de fisura, así como también las flechas máximas permisibles estipuladas en diversas normas. La mayoría de los métodos mencionados son aplicables a elementos de concreto armado sometidos a flexión y consideran únicamente las cargas reales a las cuales se espera va a estar sometido el mismo.

Seguidamente se realizan diversos ejemplos numéricos en base a las teorías y métodos estudiados en publicaciones especializadas en el tema de la fisuración y flecha. Los resultados obtenidos permiten determinar la importancia de distintas variables utilizadas en el cálculo, formar un criterio para eliminar o reducir la magnitud del problema en la etapa de diseño e interpretar las causas una vez ocurrido.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
CAPITULO II.....	4
MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL.....	4
1. FISURACIÓN EN ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO.....	4
1.1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.1. FISURACIÓN POR RETRACCIÓN PLÁSTICA.....	4
1.1.2. FISURACIÓN POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO.....	5
1.1.3. FISURACIÓN DE ORIGEN TÉRMICO.....	6
1.1.4. FISURACIÓN POR REACCIONES QUÍMICAS.....	8
1.1.5. FISURACIÓN POR CORROSIÓN.....	10
1.1.6. FISURACIÓN POR PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS INADECUADAS.....	12
1.1.7. FISURACIÓN POR SOBRECARGA.....	12
1.1.8. FISURAS DEBIDO A ERRORES DE DISEÑO Y DETALLADO.....	13
1.1.9. FISURAS EN MIEMBROS FLEXIONADOS.....	16
2. ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO.....	21
2.1. ESTADO LÍMITE DE FISURACIÓN.....	22
2.1.1. INTRODUCCIÓN.....	22
2.1.2. MÉTODOS DE CÁLCULO PARA EL CONTROL DE LA FISURACIÓN.....	22
2.1.2.1. ENFOQUE DEL ACI HASTA ACI 318-95.....	22
2.1.2.2. ENFOQUE DE ACI 318-99.....	24

2.1.2.3.	REQUISITOS DE COVENIN 1753-2006.....	25
2.1.2.4.	REQUISITOS DEL CEB-FIP 1990.....	26
2.1.2.5.	REQUISITOS DEL EUROCÓDIGO EC2	27
2.2.	ESTADO LÍMITE DE DEFLEXIÓN.....	29
2.2.1.	INTRODUCCIÓN	29
2.2.2.	FLECHA INSTANTÁNEA PARA VIGAS Y LOSAS EN UNA DIRECCIÓN (MÉTODOS DE CÁLCULO)	29
2.2.3.	FLECHA DIFERIDA PARA VIGAS Y LOSAS EN UNA DIRECCIÓN (MÉTODOS DE CÁLCULO).....	37
2.2.4.	DEFLEXIONES MÁXIMAS Y ESPESORES MÍNIMOS ADMISIBLES PARA VIGAS Y LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN.....	39
CAPITULO III.....		41
MARCO METODOLOGICO		41
1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.	VARIABLES Y ECUACIONES UTILIZADAS EN EL DESARROLLO PRACTICO	42
4.	ENFOQUE DEL TRABAJO	45
5.	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
CAPÍTULO IV		46
DESARROLLO PRÁCTICO		46
1.	FISURACIÓN	46
2.	FLECHA.....	50
2.1.	FLECHA EN LOSAS	51
2.1.1.	VALORES DE LA INERCIA CRITICA EN LOSAS, SEGÚN SU ESPESOR	51
2.1.2.	FLECHAS INSTANTÁNEA EN LOSA CON REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE ACERO, SEGÚN LAS COMBINACIONES UTILIZADAS.....	53
2.1.3.	INFLUENCIA DEL ESPESOR DE LOSA EN LA FLECHA.....	55
2.1.4.	INFLUENCIA DEL ACERO EN LA FLECHA	59
2.1.5.	INFLUENCIA DE CONSIDERAR LA SECCIÓN "T" EN EL CÁLCULO DE LA FLECHA	66
2.2.	FLECHA EN VIGAS	68
2.2.1.	VALORES DE LA INERCIA CRITICA EN VIGAS, SEGÚN SU SECCIÓN.....	69
2.2.2.	FLECHA INSTANTÁNEA EN VIGAS CON REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE ACERO POR FLEXIÓN.	75
2.2.3.	INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE VIGA EN EL CÁLCULO DE LA FLECHA	76

2.2.4.	INFLUENCIA DEL P Y P' EN EL CÁLCULO DE LA FLECHA	80
2.2.5.	INFLUENCIA DE CONSIDERAR LA VIGA CON SECCIÓN T EN EL CÁLCULO DE LA FLECHA.....	89
CAPITULO V.....		92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
1.	CONCLUSIONES	92
2.	RECOMENDACIONES	94
2.1.	FISURACIÓN	94
2.2.	FLECHA.....	94
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXOS.....		97
1.	COMBINACIONES DE ACEROS MÍNIMOS UTILIZADOS.....	97
2.	MOMENTOS DE INERCIA CRITICA	103
3.	EJEMPLOS DE CÁLCULO DE FLECHA	108
4.	MÁXIMA SEPARACIÓN PERMITIDA ENTRE CENTROS DE BARRAS PARA EL CONTROL DE FISURAS EN ELEMENTOS FLEXIONADOS, SEGÚN NORMA COVENIN 1753-06	115

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 – MÁXIMA SEPARACIÓN DE LA ARMADURA.....	25
TABLA 2.2 – MÁXIMA SEPARACIÓN DE LA ARMADURA.....	26
TABLA TABLA 2. 2 – GUÍA PARA ANCHOS DE FISURAS, CONCRETO ARMADO BAJO CARGAS DE SERVICIO.	27
TABLA 2. 3 – DIÁMETRO DE BARRA PARA BARRAS DE ALTA ADHERENCIA	28
TABLA 2. 4 – MÁXIMA SEPARACIÓN DE LAS BARRAS PARA BARRAS DE ALTA ADHERENCIA.....	28
TABLA 2. 5 – VARIABLES PARA DETERMINAR EL MOMENTO DE INERCIA DE LA SECCIÓN BRUTA Y FISURADA (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 3.1).	32
TABLA 2. 6 – COEFICIENTES K SEGÚN EL TIPO DE APOYO DEL ELEMENTO (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 3.1).....	37
TABLA 2. 7 – VALORES DE Ξ EN FUNCION DEL TIEMPO (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.1)	38
TABLA 2. 8 – ALTURA MÍNIMA DE VIGA O ESPESOR MÍNIMA DE LOSAS, A MENOS QUE SE CALCULE LA FLECHA (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.1)	39
TABLA 2. 9 – FLECHAS MAXIMAS PERMISIBLES (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.1).....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TÍPICA FISURACIÓN POR RETRACCIÓN PLÁSTICA (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.2).....	5
FIGURA 2. FISURACION POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.2)	6
FIGURA 3. FISURAS DE ORIGEN TÉRMICO EN PÓRTICO (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	7
FIGURA 4. FISURAS DE ORIGEN TÉRMICO EN PÓRTICO (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	7
FIGURA 5. FISURAS DE ORIGEN TÉRMICO EN MURO DE GRAN LONGITUD (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	8
FIGURA 6. FISURACIÓN POR REACCIÓN ALCALI-SILICE.	9
FIGURA 7. FISURACIÓN POR REACCIÓN ALCALI-CARBONATO.	9
FIGURA 8. FISURACIÓN POR REACCIÓN QUÍMICA.....	10
FIGURA 9. FISURAS Y DESPRENDIMIENTO DE CONCRETO CAUSADOS POR CORROSIÓN LOCALIZADA Y CARBONATACIÓN.	11
FIGURA 90. FISURAS Y DESPRENDIMIENTO DE CONCRETO CAUSADOS POR CORROSIÓN EN ARMADURA LONGITUDINAL (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	11
FIGURA 11. FISURACIÓN TÍPICA EN ALGULOS O ESQUINAS (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.2).....	14
FIGURA 12. DISTINTAS FORMAS DE FISURACIÓN EN TABIQUES DE MANPOSTERIA, DEBIDO A DEFLEXIÓN EXCESIVA EN VIGA O LOSA DE PLANTA SUPERIOR.....	14
FIGURA 13. DISTINTAS FORMAS DE FISURACIÓN EN TABIQUES DE MANPOSTERIA, DEBIDO A DEFLEXIÓN EXCESIVA EN VIGA O LOSA DE PLANTA BAJA (POCA ALTURA Y ESBELTO).....	15
FIGURA 14. DISTINTOS TIPOS DE FISURACIÓN EN TABIQUES DE MANPOSTERIA DEBIDO A DEFLEXIÓN DE LOSA EN VOLADO.	15
FIGURA 15. DEFLEXIÓN EN VIGA Y LOSA DEBIDO A ASENTAMIENTO DE FUNDACIÓN (ADAPTADA DE REFERENCIA 4.2)	16
FIGURA 16. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN SIMPLE (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	17
FIGURA 17. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXIÓN COMPUESTA (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	17
FIGURA 18. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.1)	18

FIGURA 19. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGAS CON APOYOS CONTINUOS (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 1.1)	19
FIGURA 20. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	19
FIGURA 21. FISURACIÓN IDEALIZADA EN VIGA SOMETIDA A TENSIONES DE TORSION (ADAPTDA DE LA REFERENCIA 1.1)	20
FIGURA 22. FISURACIÓN TÍPICA EN VIGA DEBIDA A ESFUERZOS DE TORSION (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 4.2)	21
FIGURA 23. RELACIÓN BILINEAL MOMENTO-FLECHA (ADAPTADA DE LA REFERENCIA 3.1)	31
GRAFICO 4. 1 – SEPARACIÓN MÁXIMA PERMITIDA VS RECUBRIMIENTO LIBRE	49
GRAFICO 4. 2 – MAXIMA SEPARACIÓN DE LA ARMADURA PARA LOSAS, ACI 318-95 VS ACI 318-99 (ADAPTADO DE LA REFERENCIA 3.1)	50
GRAFICO 4. 3 – INFLUENCIA DEL ESPESOR DE LOSA	59
GRAFICO 4. 4 – INFLUENCIA DEL ACERO EN EL TRAMO CENTRAL EN LOSAS	62
GRAFICO 4. 5 – INFLUENCIA DEL ACERO EN EL APOYO EN LOSAS	65
GRAFICO 4. 6 – INFLUENCIA DE LA SECCIÓN T EN LOSAS	68
GRAFICO 4. 7 – INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE SECCIÓN EN VIGAS	79
GRAFICO 4. 8 – INFLUENCIA DEL ACERO INFERIOR DEL TRAMO EN VIGAS	82
GRAFICO 4. 9 – INFLUENCIA DEL ACERO SUPERIOR DEL APOYO EN VIGAS	84
GRAFICO 4. 10 – INFLUENCIA DEL ACERO SUPERIOR DEL TRAMO EN VIGAS	86
GRAFICO 4. 11 – INFLUENCIA DEL ACERO INFERIOR DEL APOYO EN VIGAS	88
GRAFICO 4. 12 – INFLUENCIA DE LOS ACERO EN VIGAS VIGAS	89
GRAFICO 4. 13 – INFLUENCIA DE LA SECCION T EN VIGAS	91

INTRODUCCIÓN

El trabajo tiene como finalidad estudiar los factores que inciden en el problema y proporcionar al estudiante y futuro ingeniero los conocimientos necesarios para su comprensión y consideración en futuros proyectos, logrando obtener diseños satisfactorios y funcionales durante la vida útil prevista.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del contenido, este trabajo se encuentra estructurado en capítulos. En el *Capítulo I* se plantean los objetivos de la investigación, alcances, limitaciones y las razones que justifican el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

En el *Capítulo II* se presenta el marco de referencia conceptual que sirvió como base para el desarrollo del presente Trabajo, en el que se incluyen teorías, variables estadísticas y métodos necesarios para el cumplimiento de los objetivos planteados. Asimismo se establecen las normas y códigos aplicados en la metodología de diseño utilizada, comprendida dentro del alcance de esta investigación.

En el *Capítulo III* se discute el enfoque y la metodología seleccionada para el desarrollo de esta investigación, así como también las distintas técnicas a seguir y variables a considerar en el análisis. Se estudian las diferentes fases que se llevaron a cabo para la consecución de los objetivos planteados.

En el *Capítulo IV* se presentan ejemplos con el objeto de expresar de mejor manera las teorías y métodos estudiados para el análisis de la fisuración y la flecha en elementos de concreto sometidos a flexión, comprobando los resultados con los valores estipulados en normas.

Por último en el *Capítulo V* se presentan las conclusiones y recomendaciones producto de los resultados obtenidos y de la información estudiada en los capítulos previos.

CAPÍTULO I

En el presente capítulo se plantean los objetivos de la investigación, alcances, limitaciones y las razones que justifican el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Objetivos de investigación

Objetivo general

Analizar e interpretar los principales factores que influyen en la aparición de fisuras y flechas en elementos de concreto armado, tomando en cuenta distintas condiciones a las que se someten dichos elementos.

Objetivos específicos

- Estudio, revisión y síntesis de la bibliografía existente referente fisuración y flecha en elementos de concreto armado.
- Aplicar la teoría de estados límites para el estudio de fisuras y flecha en elementos de concreto armado, sometidos a cargas de servicio.
- Caracterización y clasificación de fisuras y flecha en elementos de concreto armado.
- Determinar en qué casos se debe considerar el estudio del problema, en función de las solicitaciones y características del elemento.
- Proporcionar material de apoyo para el ingeniero.

Justificación

El estudio de la fisuración y la flecha se hace necesario debido a los problemas de carácter estético y funcional que representan ambos fenómenos, ya que no es frecuente el planteamiento de los mismos en los proyectos usuales y los programas actuales prácticamente no los consideran. Además, cada vez es más frecuente el uso de aceros de alta resistencia y grandes luces en los proyectos, producto de nuevas tecnologías y la necesidad de aprovechar al máximo las propiedades de los materiales lo cual incrementa las probabilidades de aparición de fisuras y flechas debido a que los elementos se someten a elevados esfuerzos por cargas de servicios.

Alcances y limitaciones

El estudio de los problemas de fisuración y flecha ha sido tratado ampliamente en libros de diseño y patología de concreto armado, así como también en trabajos especiales de grado. Generalmente los estudios se han basado en la comprensión y definición de los métodos de cálculo y variables referentes a ambos problemas.

El presente trabajo tiene por alcance estudiar los métodos y normas usados en la determinación y prevención de las flechas y fisuras en elementos de concreto armado con la finalidad de crear matrices de valores que permitan llegar a conclusiones representativas, tratar las causas que originan los problemas, alertar sobre los casos donde se debe hacer énfasis en el estudio de los mismos y definir valores comúnmente necesarios para cálculos de flecha y el control de la fisuración.

Ambos problemas se fundamentan en teorías que dejan lugar a la aproximación, debido a que se basan en gran cantidad de variables en las cuales es casi imposible determinar con precisión los valores de las mismas. Esto representa una limitación clara, ya que la mayoría de los cálculos obtenidos serán aproximados y representarán una guía para formar un criterio en el ingeniero.

CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL

1. Fisuración en elementos de concreto armado

1.1. Introducción

A continuación en este punto se tratarán las causas que comúnmente dan origen a la fisuración en el concreto, así como también, algunas formas típicas de fisuración relacionadas con causas particulares y, medidas a tomar en cuenta para evitar o disminuir el problema.

1.1.1. Fisuración por retracción plástica

Ocurre cuando hay una disminución del volumen originada por una pérdida de humedad repentina en la superficie del elemento, causando que la superficie se contraiga y se generen tensiones de tracción debido a la resistencia a deformarse que ofrece el interior de la mezcla. Ante dichas tensiones y la baja resistencia del concreto recién colocado la superficie del elemento se fisura. Entre los factores que afectan la retracción se encuentran la composición de la mezcla y origen de los agregados, las temperaturas del aire y de la mezcla, la humedad relativa, la velocidad del viento en la superficie y la relación entre la superficie expuesta y el volumen del elemento.

Las fisuras por retracción por lo general son poco profundas pero variables, se pueden presentar de forma aleatoria o paralelas entre sí, su longitud varía desde pocos milímetros hasta más de un metro, pueden estar separadas entre pocos milímetros o hasta 3 metros. Generalmente comienzan como fisuras poco profundas 2 a 3 centímetros, pero pueden penetrar hasta la mitad o la totalidad del elemento cuando las condiciones son muy desfavorables y las prácticas de protección y curado resultan deficientes.

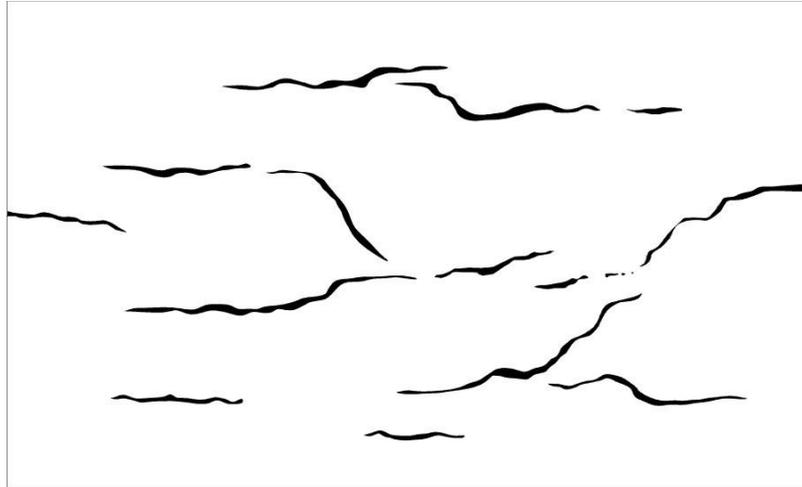


Figura 1. Típica fisuración por retracción plástica (adaptada de la referencia 1.2)

Cabe destacar que es más común observar fisuración por retracción en pavimentos, losas y pisos de concreto en general, que en elementos como vigas y columnas ya que estos necesitan más tiempo y cantidad de encofrado para su elaboración, perdiendo menos humedad y reduciendo la retracción y la fisuración.

Existen numerosas formas para reducir la retracción del concreto, lo cual reducirá la fisuración. Entre algunas de ellas se encuentran las siguientes:

- Usar mezclas con menor contenido de agua y mayor tamaño de agregado posible, bien gradado.
- Curar con compuestos químicos después del curado con agua.
- Buena disposición de acero.
- Utilizar juntas en longitudes o superficies considerables.
- Utilizar concreto con cemento expansivo.

1.1.2. Fisuración por asentamiento plástico

Es causada por el asentamiento del concreto en estado plástico, posterior al asentamiento inicial del vaciado y vibrado. Esto ocurre debido a la precipitación natural de un sólido (agregados) en un medio viscoso (mezcla de cemento), la precipitación del agregado generalmente se encuentra interrumpida por la armadura de acero, encofrados y vaciados previos. Esta interrupción puede generar vacíos y fisuras cercanas al elemento que la causa. La magnitud de los vacíos y fisuras se incrementa a medida que aumenta el

diámetro de las barras en la armadura, aumenta el asentamiento de la mezcla y disminuye el recubrimiento.

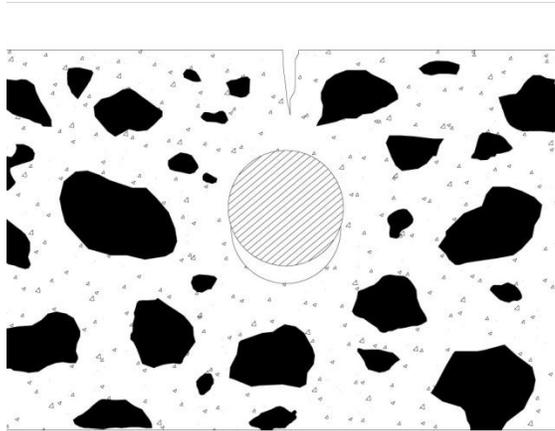


Figura 2. Fisuración por asentamiento plástico (adaptada de la referencia 1.2)

En la Figura 2 se observa el vacío causado por la obstrucción de la barra y la fisura generada, existen varias medidas para evitar o controlar este tipo de fisuración:

- Utilizar concretos de bajo asentamiento.
- Utilizar vibrados posteriores para cerrar las fisuras generadas por la precipitación de los agregados.
- Diseñar armaduras con menores diámetros de barras e igual área equivalente.

1.1.3. Fisuración de origen térmico

La variación de temperatura puede generar la aparición de fisuras en elementos de concreto, debido a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior del elemento o a restricciones a deformarse impuestas por otra parte de la estructura. En ambos casos se generan tensiones de tracción que son proporcionales al diferencial de temperatura, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad y el grado de restricción. Si estas tensiones superan la resistencia a tracción del concreto, se generaran fisuras. Mientras mayor sea el volumen de la estructura, mayor será el diferencial térmico entre en interior y exterior de la misma y tendera a fisurarse. En el pórtico de la Figura 3 se observan fisuras de origen térmico en la viga, debido a columnas de gran rigidez que las columnas, el caso contrario sucede en la Figura 4.

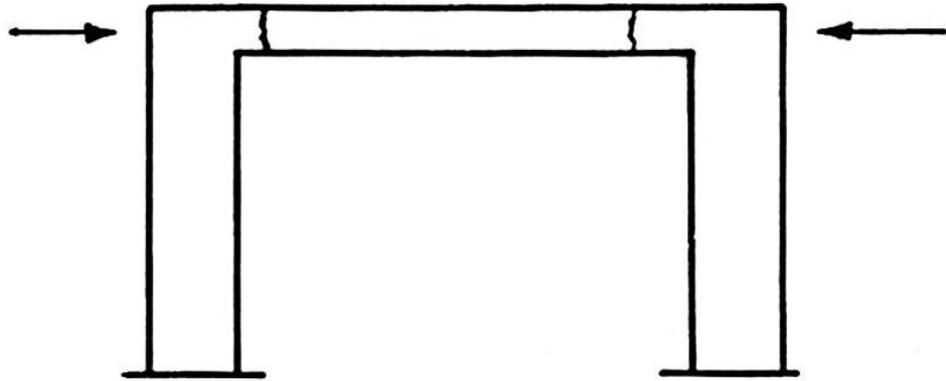


Figura 3. Fisuras de origen térmico en pórtico (adaptada de la referencia 4.2)

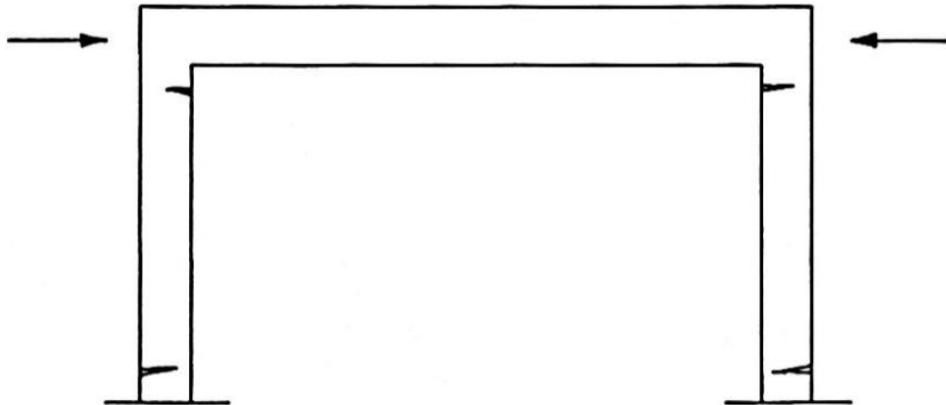


Figura 4. Fisuras de origen térmico en pórtico (adaptada de la referencia 4.2)

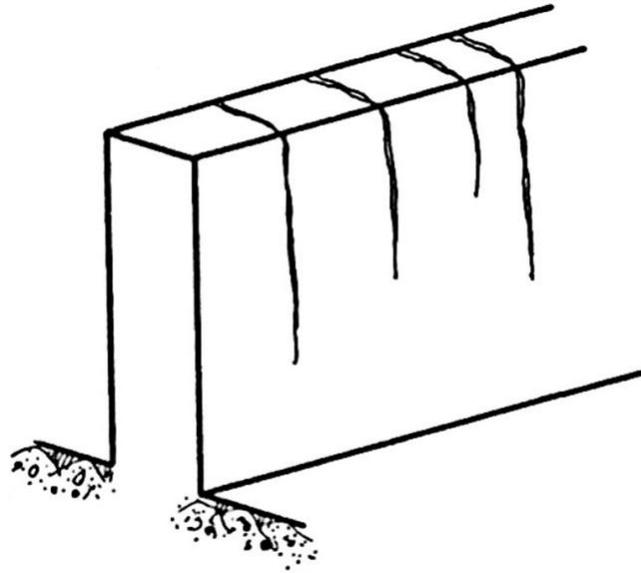


Figura 5. Fisuras de origen térmico en muro de gran longitud (adaptada de la referencia 4.2)

Entre los procedimientos que hay para reducir la fisuración de origen térmico estas los siguientes:

- Utilizar juntas de dilatación bien diseñadas.
- Utilizar mezclas con mayor resistencia a la tracción.

1.1.4. Fisuración por reacciones químicas

Existen reacciones químicas que pueden ocasionar fisuras, dichas reacciones pueden ser producto de los materiales usados para la mezcla de concreto o por el contacto de algún producto en una superficie ya endurecida. La mayoría de las fisuras son originadas por reacciones expansivas que generan tensiones de tracción superiores a las admisibles por el concreto. La manera más eficaz para evitar el problema, consiste en una correcta selección de los materiales a utilizar, descartando aquellos que contengan componentes perjudiciales, esto se logra mediante ensayos o el conocimiento previo del origen de dichos componentes que puedan dar lugar a una reacción adversa en el concreto.

Entre estas reacciones se encuentra la que ocurre entre compuestos alcalinos derivados de la hidratación del cemento, aditivos o el agua utilizada y la sílice presente en algunos agregados. Los compuestos alcalinos también reaccionan con ciertas rocas carbonatadas, principalmente algunos tipos de calizas. Las fisuras producidas por ambas reacciones se diferencian por la

presencia de depósitos superficiales en la primera (álcali-sílice) y la ausencia de estos en la última (álcali-carbonato), siguiendo esta un patrón de fisuración de red. Para el control de la fisuración producida por estas reacciones, además de evitar los agregados reactivos, se recomienda la utilizar cemento de bajo contenido de álcalis.



Figura 6. Fisuración por reacción Alkali-Silice.



Figura 7. Fisuración por reacción Alkali-Carbonato.

Otra reacción que afecta al concreto es la que ocurre entre sulfato presente en el agua y el aluminato de calcio derivado de la hidratación del cemento. Esto genera fisuras de poca separación y gran desarrollo en la superficie afectada, disminuyendo la durabilidad del concreto. Para disminuir el problema, se pueden usar cementos de bajo contenido de aluminato tricálcico o cemento puzolánico que proporciona mayor resistencia contra el ataque de los sulfatos.



Figura 8. Fisuración por reacción química.

La reacción entre el dióxido de carbono presente en aire y el hidroxilo de calcio del cemento hidratado puede generar carbonato de calcio, causando una retracción que puede generar fisuras irregulares en la superficie de concreto, esto ocurre generalmente durante las primeras 24 horas luego de realizada colocación del concreto.

1.1.5. Fisuración por corrosión

La corrosión en las armaduras del concreto ocurre cuando estas se encuentran expuestas a la humedad o el oxígeno, que generan el proceso de oxidación. El metal oxidado se expande, pudiendo alcanzar hasta 10 veces su volumen inicial. Esto genera tensiones de tracción que dan lugar a fisuras superficiales localizadas, que pueden propagarse a medida que aumenta la corrosión dando lugar a fisuras longitudinales, paralelas a las barras de la armadura.



Figura 9. Fisuras y desprendimiento de concreto causados por corrosión localizada y Carbonatación.

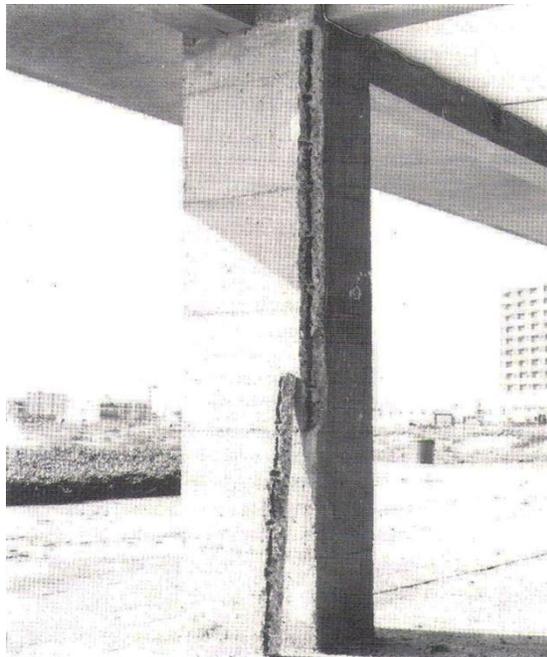


Figura 90. Fisuras y desprendimiento de concreto causados por corrosión en armadura longitudinal (adaptada de la referencia 4.2)

Entre las medidas que se pueden tomar para reducir la corrosión están las siguientes:

- Aumentar el espesor de recubrimiento.
- Correcta disposición de armadura transversal (estribos), para disminuir las fisuras previas a la corrosión.
- Compactación y acabados adecuados, para disminuir la permeabilidad en el concreto.
- Uso de armaduras recubiertas.
- Uso de selladores y sobrecapas sobre el concreto endurecido.
- Uso de aditivos inhibidores de corrosión.
- Protección catódica.

1.1.6. Fisuración por prácticas constructivas inadecuadas.

En el trabajo de campo a menudo se utilizan prácticas indebidas que pueden incrementar la aparición de fisuras, debido al desconocimiento u omisión de las consecuencias que originan dichas prácticas, entre estas se encuentran las siguientes:

- Agregar agua al concreto antes o durante el vaciado para mejorar su trabajabilidad, esto disminuye la resistencia, aumenta el asentamiento y aumenta la retracción por secado, facilitando la formación de fisuras.
- Encofrados desfasados o barras colocadas fuera del eje de diseño.
- El curado deficiente aumentara la retracción del concreto, la falta de hidratación disminuirá su resistencia a largo plazo y su durabilidad.
- La compactación inadecuada o el uso de encofrados deficientes puede provocar asentamientos y fisuración antes de que el concreto tenga resistencia suficiente para soportar su propio peso.
- El retiro prematuro del encofrado puede ocasionar deflexiones y fisuración, ya que el concreto no ha obtenido la resistencia suficiente.

1.1.7. Fisuración por sobrecarga

Durante la etapa de construcción, algunos elementos pueden ser sometidos a cargas mayores a las que fueron diseñados, causando deflexiones y/o fisuras en ellos. Esto ocurre debido a que el concreto tiene menor resistencia. Además las cargas puntuales producidas por el almacenamiento de materiales, equipos y la utilización de apoyos arbitrarios son frecuentes. El desencofrado prematuro también podría considerarse una sobrecarga, ya que el elemento aun no es apto para soportar su propio peso. Los problemas de fisuración y flecha por sobrecarga pueden ser evitados tomando en cuenta las siguientes acciones:

- Evitar o distribuir las cargas puntuales excesivas.
- Si no aplica lo estipulado en el punto anterior, es necesario apuntalar un área igual o mayor al área donde se aplica la sobrecarga. Esto no garantiza evitar el problema, pero si disminuirá su efecto.
- No desencofrar prematuramente.
- Tomar las consideraciones necesarias en el diseño de la estructura.

1.1.8. Fisuras debido a errores de diseño y detallado

En los espacios vacíos de muros y paredes previstos para puertas y ventanas, se pueden generar fisuras debido a la concentración de esfuerzos en las esquinas. Estos pueden tener origen en cambios de volúmenes, cargas excesivas o deflexiones. Se pueden evitar o disminuir su propagación utilizando armaduras de refuerzo diagonales a las esquinas.

El diseño deficiente en elementos como vigas y losas puede provocar fisuración por flechas excesivas en los tabiques que estos soportan o que estén ubicados por debajo de dichos elementos. Entre estos errores es común una disposición incorrecta de la armadura o falta de rigidez en el elemento.

Fundaciones mal diseñadas pueden provocar asentamientos diferenciales significativos. Estos suelen causar fisuras en componentes de cerramiento y vigas próximas a la columna o área asentada.

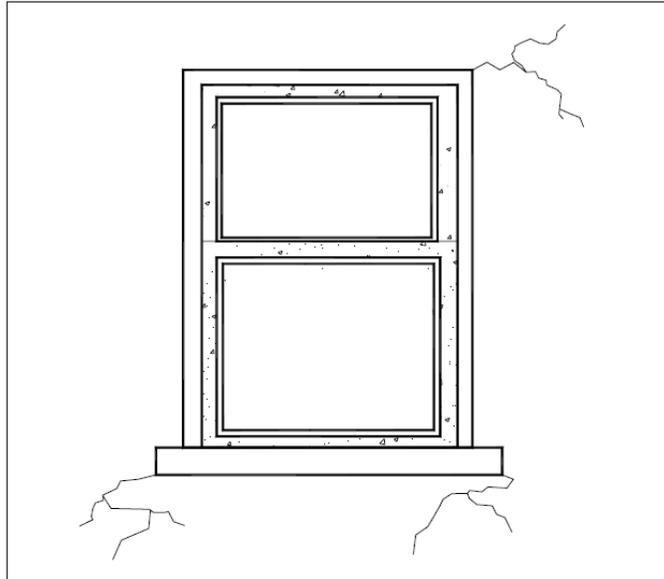


Figura11. Fisuración típica en alfileros o esquinas (adaptada de la referencia 1.2)

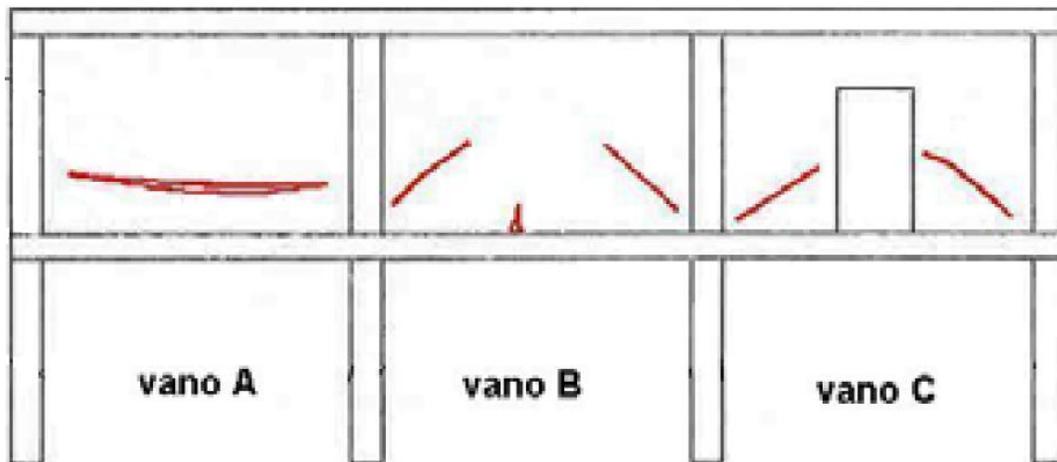


Figura 12. Distintas formas de fisuración en tabiques de mampostería, debido a deflexión excesiva en viga o losa de planta superior.

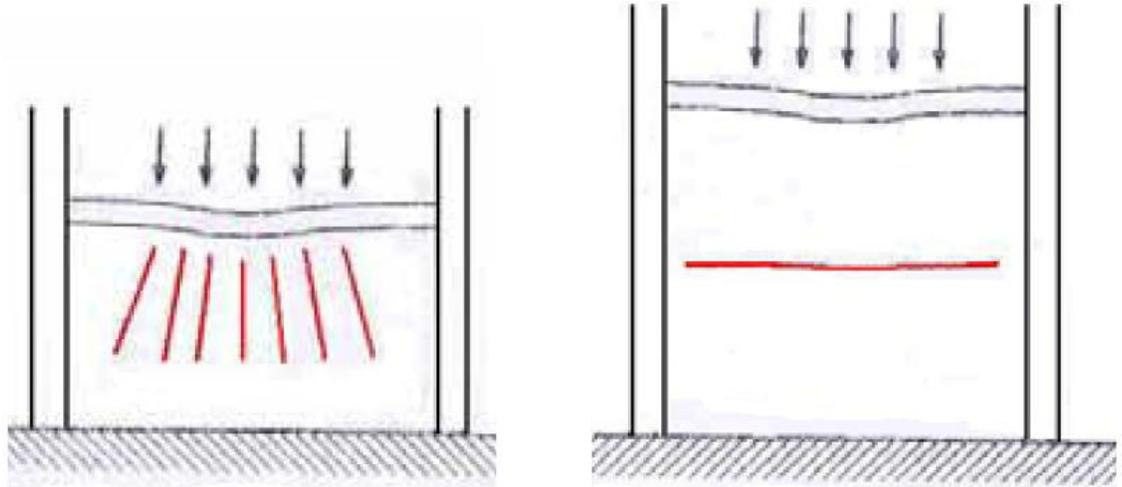


Figura 13. Distintas formas de fisuración en tabiques de manposteria, debido a deflexión excesiva en viga o losa de planta baja (Poca altura y esbelto).

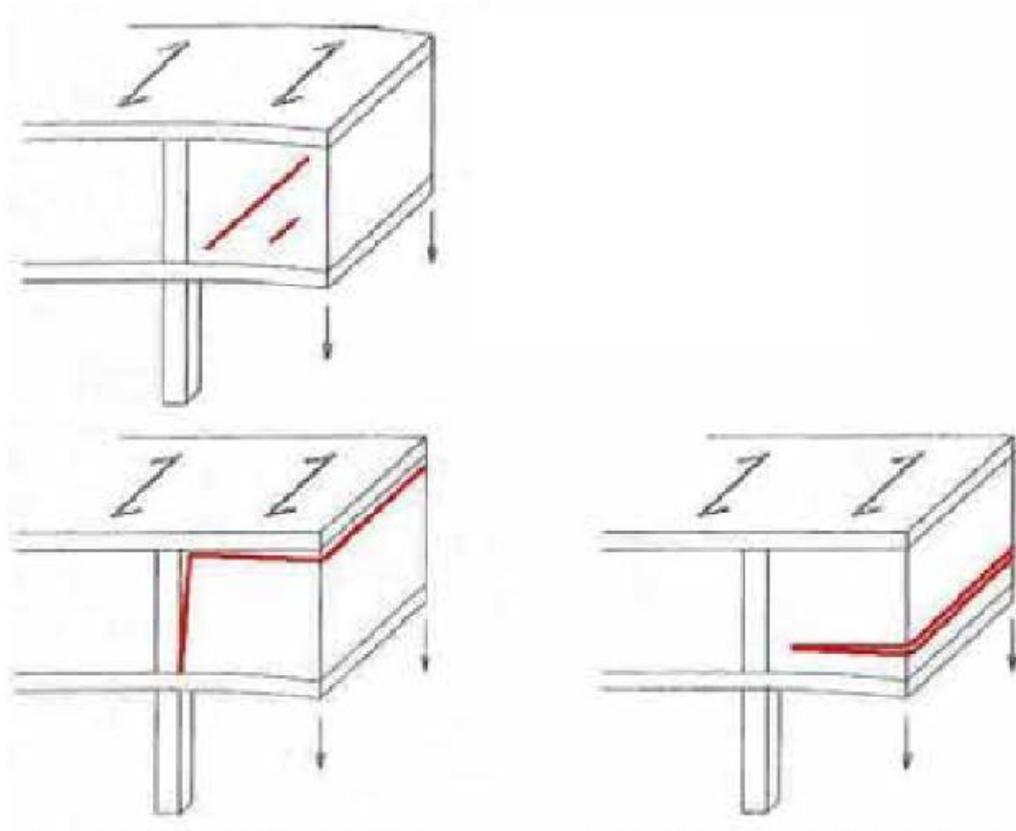


Figura 14. Distintos tipos de fisuración en tabiques de manposteria debido a deflexión de losa en volado.

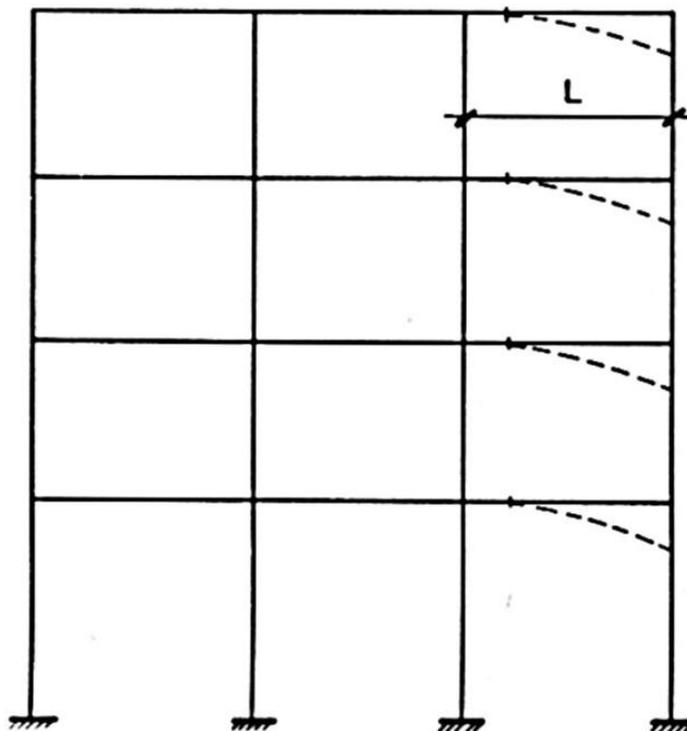


Figura 15. Deflexión en viga y losa debido a asentamiento de fundación (adaptada de referencia 4.2)

1.1.9. Fisuras en miembros flexionados

La fisuración en miembros flexionados suele ser inevitable, además necesaria para aprovechar de forma efectiva la armadura de refuerzo. Esto hace necesario conocer los factores que afectan la anchura y la distribución de las fisuras, con el fin de disminuir los problemas mencionados anteriormente. Así mismo, también importante conocer las características y el origen de las fisuras en dichos miembros, a continuación se muestran algunas formas de fisuración del concreto según distintas sollicitaciones:

Fisuras por flexión: son las más frecuentes y se pueden presentar en distintas formas, según el caso.

Las debidas a flexión simple aparecen próximas a la armadura sometida a tracción simple, progresando verticalmente hacia el punto de aplicación de la carga y no más allá del eje neutro de la sección. Su anchura es mayor en la superficie de la cara traccionada y disminuye a medida que se acerca a la zona

en compresión. Si la flexión es compuesta, posiblemente la sección comprimida será la que se fisure primero.

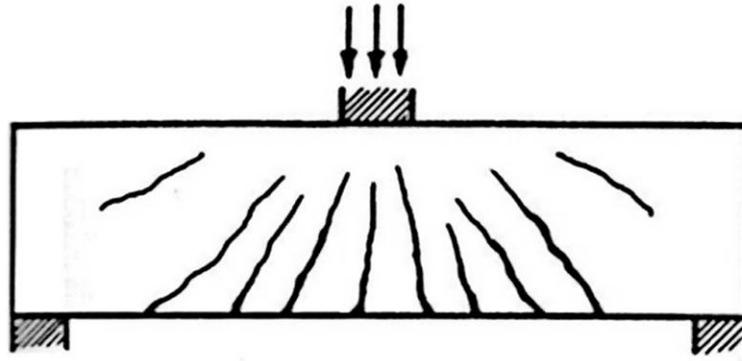


Figura 16. Fisuración típica en vigas sometidas a flexión simple (adaptada de la referencia 4.2)

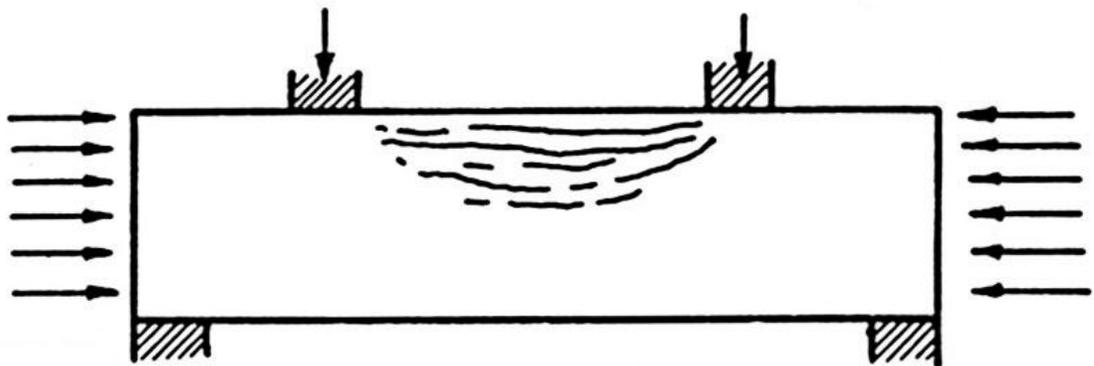


Figura 17. Fisuración típica en vigas sometidas a flexión compuesta (adaptada de la referencia 4.2)

Estas fisuras no ocurren de forma repentina y pueden cerrarse si se elimina la causa que las produjo. Una viga bien diseñada, presentara un mayor número de fisuras de poca abertura, mientras que una diseñada deficientemente presentara menor cantidad de fisuras con mayor anchura.

Para disminuir la fisuración por flexión se pueden tomar las siguientes medidas:

- Disminuir las tensiones de tracción en la armadura.
- Utilizar mayor número de barras con diámetros menores para la misma área equivalente en la sección.
- Utilizar barras de mayor adherencia.
- Utilizar concretos de mayor resistencia a tracción.

Fisuras por cortante: ocurren cuando el elemento no tiene suficiente armadura transversal para absorber las tensiones de tracción producidas por una carga. Aparecen repentinamente, mientras menos armadura transversal posea el elemento más rápida será su ocurrencia.

Por lo general forman inclinaciones entre 45° y 75° grados desde el apoyo, curvándose hacia la zona de aplicación de la carga. Son de ancho variable y pueden presentarse varias paralelas entre sí.

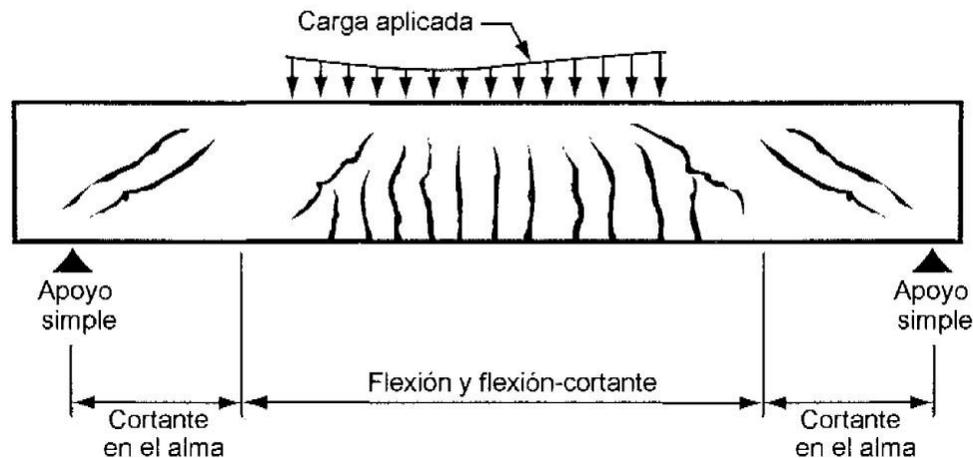


Figura 18. Fisuración típica en vigas simplemente apoyadas (adaptada de la referencia 1.1)

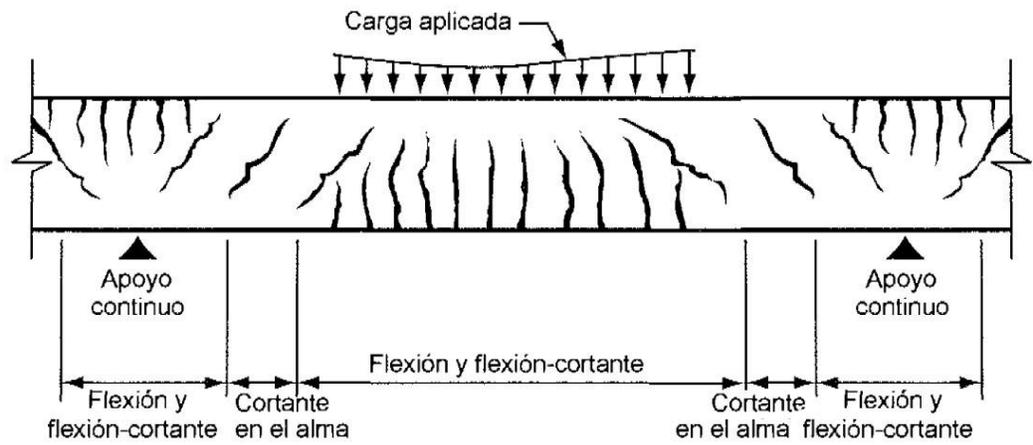


Figura 19. Fisuración típica en vigas con apoyos continuos (adaptada de la referencia 1.1)

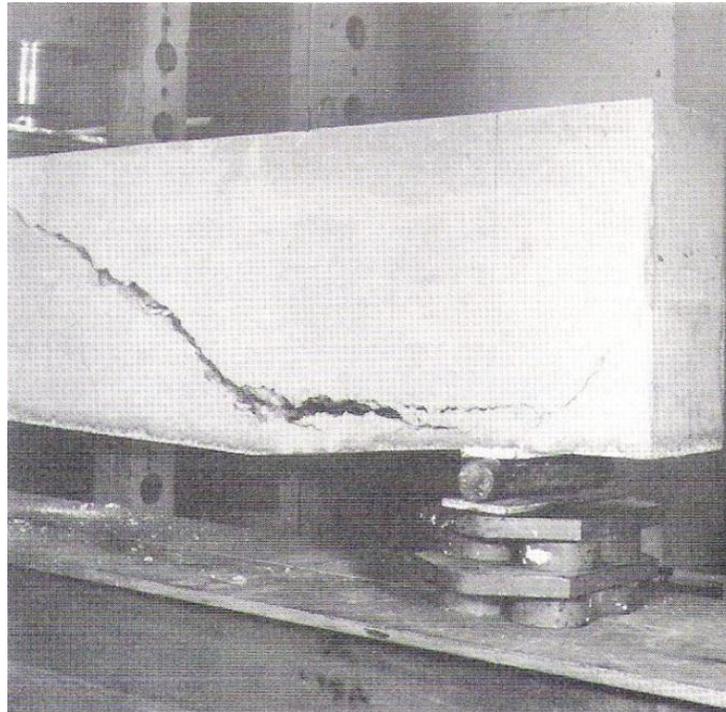


Figura 20. Fisuración típica en vigas simplemente apoyadas (adaptada de la referencia 4.2)

Fisuras por torsión: los esfuerzos de torsión pueden ser originados por cargas excéntricas en el elemento, dando lugar a fisuras por lo general inclinadas 45° grados en distintas caras del elemento. Son comunes en la práctica ya que, a menudo no se consideran los efectos de torsión que puede haber en ciertos elementos, dándosele mayor importancia a sollicitaciones distintas en el diseño.

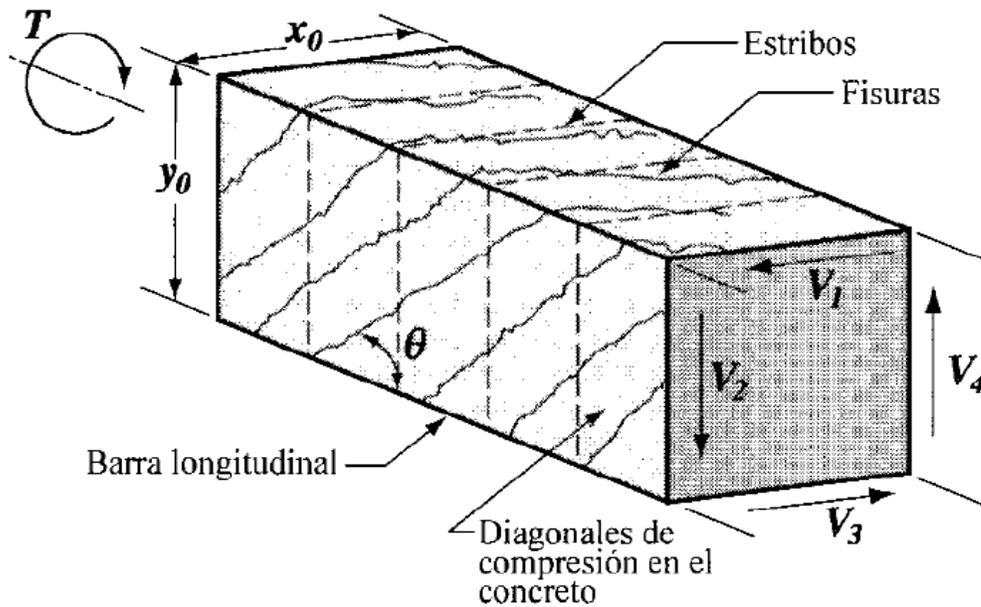
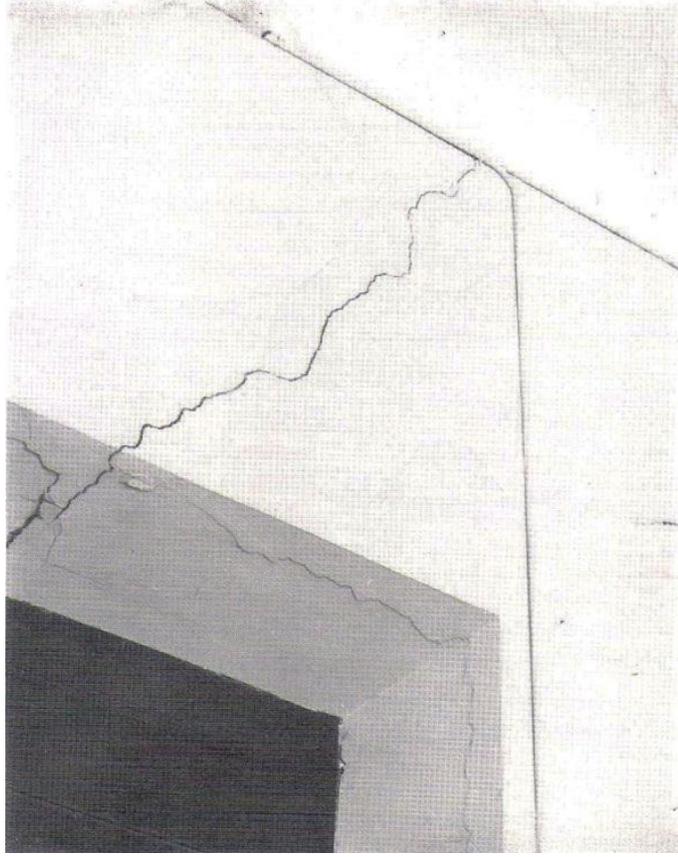


Figura 21. Fisuración idealizada en viga sometida a tensiones de torsion (adapta de la referencia 1.1)



**Figura 22. Fisuración típica en viga debida a esfuerzos de torsion
(adaptada de la referencia 4.2)**

2. Estados límites de servicio

Los estados límites de servicio son aquellos inherentes a las cargas reales que va a estar sometida la estructura durante su vida útil sin considerar incremento alguno en los coeficientes de cargas, principalmente los problemas que deben estudiarse con mayor énfasis en elementos de concreto armado para cargas de servicio son la fisuración y la deflexión o flecha. Su estudio particular es necesario, ya que el diseño de elementos considerando factores de sobrecarga y suministrándole al mismo una resistencia adecuada no garantiza controlar dichos problemas. Típica

2.1. Estado límite defisuración

2.1.1. Introducción

En estructuras de concreto suele ser inevitable la aparición de fisuras, las causas son variadas pero en todas ellas incide la baja resistencia del concreto a tracción. Las fisuras no necesariamente representan un problema siempre y cuando se limite su abertura, con el fin de evitar principalmente dos problemas:

- a) La corrosión, causada por la exposición del acero al medio ambiente, afectando la funcionalidad y vida útil de la estructura
- b) La apariencia, que puede afectar significativamente la confiabilidad en los usuarios.

En este punto se estudiarán métodos de cálculos para el control de la fisuración en elementos sometidos a flexión, como es el caso de vigas y losas en los cuales el fenómeno puede ocurrir ante niveles de tensión en la armadura tan bajos como 200 kg/cm^2 .

2.1.2. Métodos de cálculo para el control de la fisuración

Existen varios métodos para el cálculo de la anchura de fisura máxima probable en elementos flexionados ante cargas de servicio, la mayoría de ellos son experimentales y pueden utilizarse con cierto porcentaje de seguridad, alrededor del 90% de los anchos de fisuras estarán por debajo del valor calculado. Sin embargo, investigaciones han demostrado que en las vigas pueden ocurrir fisuras aisladas de más del doble del máximo calculado (Hombre y Lindgren, 1970), aunque generalmente el coeficiente de variación del ancho de fisura es alrededor del 40% (Leonhardt, 1977). Dicho rango puede aumentar con el tamaño del miembro (Comité ACI 244, 1972).

2.1.2.1. Enfoque del ACI hasta ACI 318-95

Se basa en los análisis estadísticos de una gran cantidad de datos experimentales, realizados por Gergely y Lutz en la universidad de Cornell. Donde se llegó a las siguientes conclusiones generales:

- La tensión en las armaduras es la variable más importante.
- El espesor del recubrimiento de concreto es una variable geométrica importante.
- El área de concreto que rodea cada una de las barras es también una variable geométrica importante.
- El diámetro de las barras de acero no es una variable importante.

- La relación entre la anchura de fisura en la superficie y la anchura a nivel de armadura es proporcional a la relación entre la deformación nominal en la superficie y la deformación en la armadura.

La ecuación que se consideraba predecía mejor la anchura máxima probable de fisuras en el fondo de vigas de poca altura y losas nervadas en una sola dirección de gran espesor (relación longitud-profundidad entre 15 y 20) es:

$$w_b = 0.091 \cdot (t_b \cdot A)^{\frac{1}{3}} \cdot \beta \cdot (f_s - 5) \times 10^{-3} \quad (2-1)$$

Dónde:

w_b = Anchura máxima de fisura probable en el fondo de la viga, [in.]

t_b = Recubrimiento inferior hasta el centro de la barra, [in.]

A = Área de concreto simétrica con las armaduras dividido por el número de barras, [in²]

β = Relación entre la distancia entre el eje neutro y la cara a tracción y la distancia entre el eje neutro y las armaduras, alrededor de 1,20 en vigas.

f_s = Tensión en el acero de las armaduras, [ksi]

Simplificando la ecuación (2- 1) se obtiene:

$$w = 0.076 \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \times 10^{-3} \quad (2-2)$$

Dónde:

w = Anchura máxima de fisura más probable, [in.];

d_c = Espesor del recubrimiento desde la fibra extrema traccionada hasta el centro de la barra más cercana, [in.]

Para losas armadas en una dirección con un recubrimiento de concreto mayor a 25,4 mm, se puede usar en la Ecuación (2-2) un valor de β entre 1,25 y 1,35. La sección 10.6 de ACI 318-95 se basaba en esta ecuación para normalizar la distribución de la armadura traccionada a flexión, permite suponer f_s igual al 60% de f_y y utiliza el parámetro z para definir las reglas.

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (2-3)$$

$z \leq 31250$ kgf/cm, para ambientes interiores.

$z \leq 25900$ kgf/cm, para ambientes exteriores.

Utilizando la Ecuación (2-2) y el valor máximo de z , se obtiene una anchura de fisura admisible de 0,016 y 0,013 pulgadas. (0,41 y 0,33 mm) para ambientes interiores y exteriores respectivamente. Estos valores pueden ser excesivos desde el punto de vista estético.

Para satisfacer los valores límites de z , el método alentaba a la reducción del recubrimiento de concreto, lo cual podría reducir la protección contra la corrosión.

2.1.2.2. Enfoque de ACI 318-99

Afirma que dada la variabilidad de los parámetros que influyen en la anchura de las fisuras no es correcto sostener que se pueden calcular efectivamente, mantiene que el parámetro más importante en la fisuración por flexión es la tensión en el acero, también son importantes el espesor de recubrimiento de concreto y la separación de las barras.

En base a estudios realizados (Frosh, 1999) se obtuvo una nueva ecuación para el cálculo de la anchura de fisuras en elementos flexionados y se determinó que las ecuaciones anteriores al estudio son válidas para recubrimientos iguales o menores a 63mm.

La sección 10.6 de ACI 318-99 no distingue entre exposición interior o exterior. Esto basado en investigaciones (Darwin, 1985; Oesterle, 1997) que determinan que la corrosión no está claramente relacionada con la abertura superficial de fisuras para los rangos generalmente encontrados en las tensiones del acero ante cargas de servicio. Limita la separación máxima de la armadura más próxima a una superficie traccionada en vigas y losas armadas en una dirección, según la siguiente ecuación:

$$s \text{ (mm)} = \left[380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \right] \quad (2- 4)$$

pero nunca mayor que $300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \text{ mm}$.

Dónde:

f_s = Tensión calculada en la armadura bajo cargas de servicio (*Mpa*), determinada como el momento no mayorado dividido por el producto del área de acero por el brazo de momento interno. Alternativamente f_s se puede tomar igual al 2/3 de f_y .

c_c = Espesor de recubrimiento libre, entre la superficie traccionada más próxima y la superficie de la armadura de tracción por flexión, [mm.];

s = Separación entre centros de la armadura de tracción por flexión más próxima a la superficie de la cara extrema traccionada, [mm.].

Tabla 2. 1–Máxima separación de la armadura

SEPARACION MAXIMA PERMITIDA										
Cc (mm)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
s (mm)	304	304	304	298	286	273	261	248	236	223

2.1.2.3. Requisitos de COVENIN 1753-2006

Se adapta al enfoque del ACI 318-99, limitando la máxima separación entre barras de la armadura a tracción en miembros solicitados a flexión. A diferencia del código ACI esta limita la máxima separación a 25 cm.

$$s = 25 \frac{f_y}{f_s} - 2,5 c_c \leq 16,5 \frac{f_y}{f_s} \quad (2- 5)$$

Dónde:

f_s = Tensión calculada en la armadura bajo cargas de servicio, determinada como el momento no mayorado dividido por el producto del área de acero por el brazo de momento interno. Alternativamente f_s se puede tomar igual al 2/3 de f_y .

c_c = Espesor de recubrimiento libre, entre la superficie traccionada más próxima y la superficie de la armadura de tracción por flexión, [cm];

s = Separación entre centros de la armadura de tracción por flexión más próxima a la superficie de la cara extrema traccionada [cm].

Tabla 2.2 –Máxima separación de la armadura

SEPARACION MAXIMA PERMITIDA										
Cc (cm)	2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
s (cm)	25	25	25	25	25	25	25	24	23	21

2.1.2.4. Requisitos del CEB-FIP 1990

Expresa el ancho característico en vigas w_k de la siguiente manera, en términos de la longitud $l_{s,max}$ en la cual hay deslizamiento entre la armadura de acero y el concreto (aproximada a la separación de fisuras estabilizadas).

$$w_k = l_{s,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \varepsilon_{cs}) \quad (2- 6)$$

$$w_k \leq w_{lim}$$

Dónde:

ε_{sm} = Deformación media de la armadura dentro de la longitud del segmento, $l_{s,max}$;

ε_{cm} = Deformación media del concreto dentro de la longitud del segmento, $l_{s,max}$;

ε_{cs} = Deformación del concreto debido a retracción; y

w_{lim} = Valor límite nominal del ancho de fisura.

A continuación se especifica el valor límite de la anchura de fisura en función a distintos casos en los cuales se anticipan problemas funcionales debido a fisuración. El código considera un valor limitante w_{lim} igual a 0,3 mm satisfactorio desde el punto de vista estético y de ductilidad.

Tabla 2. 2–Guía para anchos de fisuras, concreto armado bajo cargas de servicio.

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,3
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua	0,004	0,10

2.1.2.5. Requisitos del Eurocódigo EC2

Limita la fisuración, de manera que esta no perjudique la funcionalidad de la estructura ni que la apariencia de la misma sea inaceptable. Limita el ancho máximo de diseño a 0,3 mm para carga sostenida bajo condiciones ambientales normales.

El código requiere que se evalué el ancho de fisura de diseño, mediante la siguiente ecuación.

$$w_k = \beta s_{rm} \varepsilon_{sm} \quad (2- 7)$$

Dónde:

w_k = Ancho de fisura de diseño;

s_{rm} = Separación media de fisuras estabilizadas;

ε_{sm} = Deformación media bajo combinaciones de cargas relevantes y tomando en cuenta efectos tales como rigidización por tracción o retracción; y

β = Coeficiente que relaciona el ancho de fisura medio con el valor de diseño.

El código EC2 estipula que los anchos de fisura provocadas predominantemente por flexión generalmente no superan los 0,30 mm estipulados si el diámetro y separación de las barras cumplen con los rangos de valores dados en las siguientes tablas. (Euro EC2, 1997; Veckett y Alexandrou, 1997; Nawy, 2001)

Tabla 2. 3– Diámetro de barra para barras de alta adherencia

Tensión en el acero, MPa	Tamaño máximo de barra, mm
160	32
200	25
240	20
280	16
320	12
360	10
400	8
450	6

Tabla 2. 4– Máxima separación de las barras para barras de alta adherencia

Tensión en el acero, MPa	Máxima separación de las barras, mm	
	Flexión pura	Tracción pura
160	300	200
200	250	150
240	200	125
280	150	75
320	100	--
360	50	--

2.2. Estado límite de deflexión

2.2.1. Introducción

El control de la deflexión o flecha, se debe realizar con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado de la estructura y los elementos que la integran, ya que flechas excesivas pueden causar fisuración en paredes y muros, descuadre en puertas y ventanas, problemas en instalaciones sanitarias, desalineación de maquinaria o equipos sensibles y deformaciones visualmente desagradables entre otras cosas. Para ello se deben diseñar elementos que se comporten satisfactoriamente ante cargas de servicios y que cumplan con los requisitos necesarios de resistencia.

El análisis particular de la flecha se ha hecho cada vez más importante debido a la creación de materiales de construcción más resistentes que generan diseños de secciones transversales menores y por tanto de menor rigidez. Las variables que inciden en el cálculo de la flecha son muchas, lo cual hace que el cálculo de la misma sea una aproximación de los valores reales. Existen dos enfoques para controlar el problema, el primero se basa en limitar el espesor mínimo de los elementos en función de la luz libre, tipo de apoyo y funcionalidad de los mismos, esta metodología es aplicable solo para elementos bajo solicitaciones usuales. La segunda se basa en el cálculo directo de la flecha y debido a la variabilidad de los parámetros que influyen no se la justifica exactitud en los mismos.

Las flechas se dividen en dos tipos, la instantánea y la diferida o a largo plazo. De forma genérica la instantánea es la debida al peso propio del elemento y a la carga aplicada, en la diferida influye también la carga aplicada, pero predomina la influencia de la retracción del fraguado y el flujo plástico del concreto. Se podría pensar que es de mayor importancia el estudio de la flecha instantánea por la celeridad con que ocurre, pero estudios han demostrado que en ocasiones la flecha a largo plazo puede superar en dos y hasta tres veces a la instantánea, esto evidencia la importancia del estudio detallado de ambas.

2.2.2. Flecha instantánea para vigas y losas en una dirección(métodos de cálculo)

Las flechas instantáneas son aquellas que ocurren una vez es aplicada la carga en el elemento, es decir, justo después del desencofrado y la aplicación de la carga viva. Entre las principales variables que afectan la flecha instantánea están:

- La magnitud y la distribución de la carga.
- La luz y las condiciones de apoyo.
- Las propiedades geométricas de la sección y el porcentaje de acero.
- Las propiedades de los materiales.
- La distribución de la fisuración por flexión.

De forma general, la influencia en la flecha de los aspectos anteriores podría expresarse en la siguiente manera:

$$\Delta = f(\text{cargas, luces, apoyos})/EI$$

En la mayoría de los planteamientos se conoce la luz, la carga actuante y la condición de apoyo del elemento, el módulo de elasticidad del concreto (E) depende de la calidad de los materiales y también se puede estimar. El problema está en determinar la rigidez (I) del elemento ya que varía a todo lo largo de la sección en función de la cantidad de acero, carga aplicada y estado de agrietamiento del concreto, esto hace difícil predecir con exactitud las flechas que ocurrirán.

Dada la variabilidad de la inercia, se hace necesario entonces conocer un valor aproximado que permita estimar la flecha con cierto grado de precisión, a dicho valor se denomina inercia efectiva y varía en función de la inercia de la sección fisurada (I_{cr}), la inercia de la sección plena sin fisurar (I_g) y de los momentos actuantes respectivos a cada caso. La sección se considerara como fisurada cuando el momento actuante (M_a) es mayor que el momento de fisuración (M_{cr}); por el contrario, se considerara la sección no fisurada cuando el momento actuante (M_a) es menor que el momento de fisuración (M_{cr}).

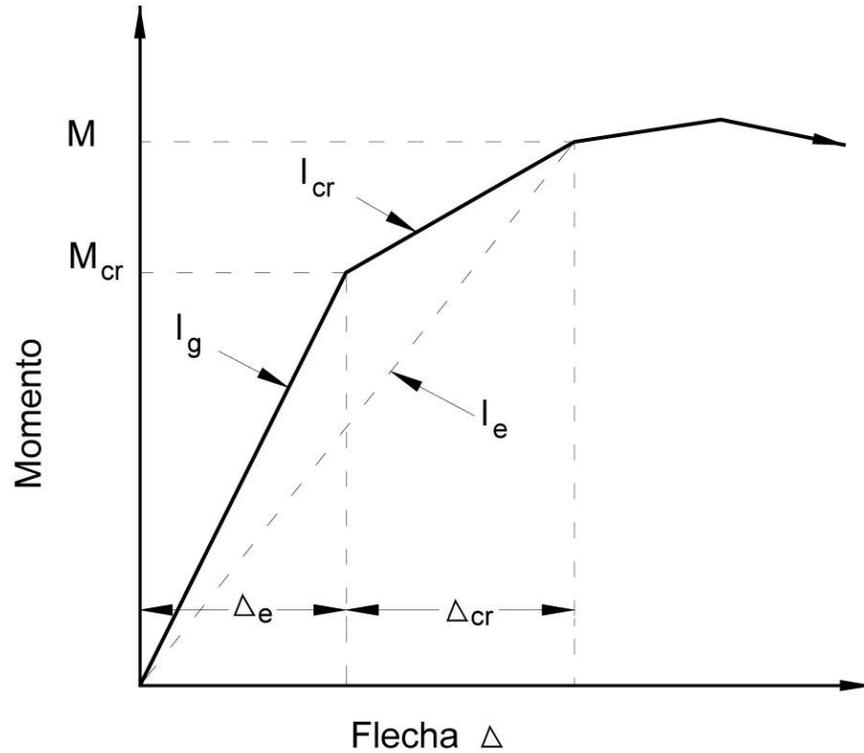
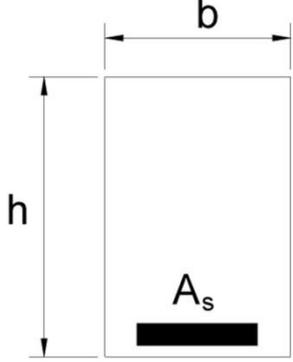
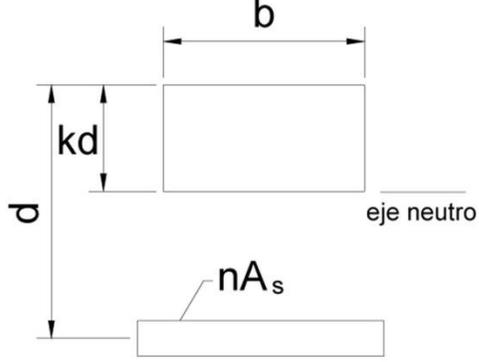
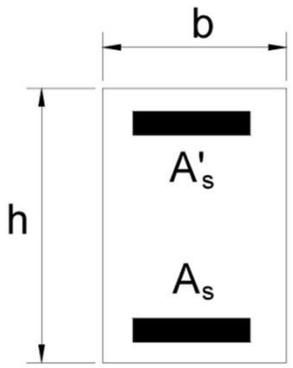
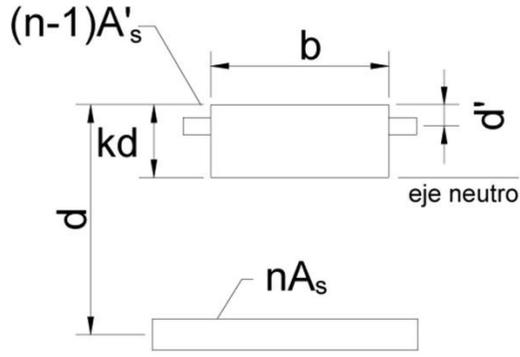


Figura 23. Relación bilineal Momento-Flecha(adaptada de la referencia 3.1)

El momento de inercia efectivo proporciona una transición entre los límites de I_g e I_{cr} , en función del nivel de fisuración representado por M_a/M_{cr} .

A continuación se muestran las expresiones y variables geométricas correspondientes para el cálculo de la inercia de la sección bruta y sección fisurada, con armadura simple y a compresión en secciones rectangulares y secciones T.

Tabla 2. 5– Variables para determinar el momento de inercia de la sección bruta y fisurada (adaptada de la referencia 3.1).

Sección bruta	Sección fisurada transformada
	 <p>Sin armadura de compresión</p>
	 <p>Con armadura de compresión</p>

Momento de inercia de la sección bruta y de la sección fisurada

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$B = \frac{b}{(nA_s)}$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12}$$

Sin armadura de compresión:

$$kd = (\sqrt{2dB + 1} - 1) / B$$

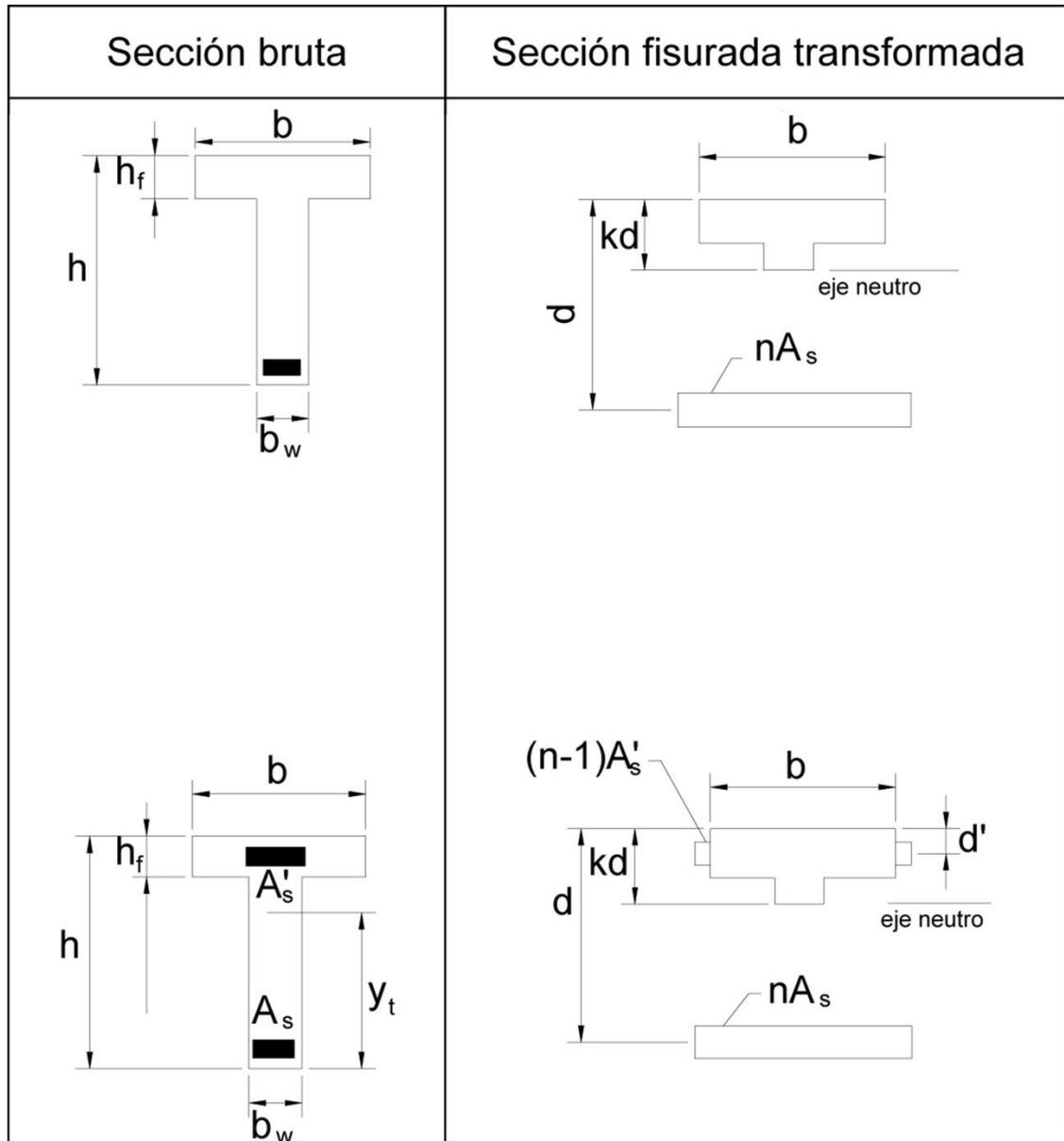
$$I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2$$

Con armadura de compresión:

$$r = (n - 1)A'_s / (nA_s)$$

$$kd = \left[\sqrt{2dB + (1 + rd'/d) + (1 + r)^2} - (1 + r) \right] / B$$

$$I_{cr} = b(kd)^3 / 3 + nA_s (d - kd)^2 + (n - 1)A'_s (kd - d')^2$$



Momento de inercia de la sección bruta y de la sección fisurada

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$C = b_w / (nA_s) \quad f = h_f (b - b_w) / (nA_s)$$

$$y_t = h - 1/2 \left[(b - b_w) h_f^2 + b_w h^2 \right] / \left[(b - b_w) h_f + b_w h \right]$$

$$I_g = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w h^3 / 12 + (b - b_w) h_f (h - h_f / 2 - y_t)^2 + b_w h (y_t - h / 2)^2$$

Sin armadura de compresión:

$$kd = \left[\sqrt{C(2d + h_f f) + (1 + f)^2} - (1 + f) \right] / C$$

$$I_{cr} = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w (kd)^3 / 3 + (b - b_w) h_f (kd - h_f / 2)^2 + nA_s (d - kd)^2$$

Con armadura de compresión:

$$kd = \left[\sqrt{C(2d + h_f f + 2rd') + (f + r + 1)^2} - (f + r + 1) \right] / C$$

$$I_{cr} = (b - b_w) h_f^3 / 12 + b_w (kd)^3 / 3 + (b - b_w) h_f (kd - h_f / 2)^2 + nA_s (d - kd)^2 + (n - 1)A'_s (kd - d')^2$$

El momento de inercia efectivo de voladizos, vigas simples y vigas continuas entre puntos de inflexión está dado por:

$$I_e = [M_{cr}/M_a]^3 I_g + [1 - (M_{cr}/M_a)^3] I_{cr} \leq I_g \quad (2- 8)$$

Dónde:

$$M_{cr} = (f_r I_g) / y_t \quad (2- 9)$$

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad \text{para concreto de peso normal} \quad (2- 10)$$

M_a = Momento máximo bajo carga de servicio (no mayorado) para la etapa en que se calculan las flechas.

Dado que un elemento presenta valores máximos de momentos positivos y negativos, en el centro y en los extremos respectivamente, se sugiere en diversas normas usar el promedio de I_e para determinar las flechas.

La flecha instantánea (Δ_i) para voladizos y vigas simples y continuas con se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$\Delta_i = K(5/48) M_a l^2 / E_c I_e \quad (2- 11)$$

En la tabla 2.6 se indican los valores teóricos del coeficiente K para calcular las flechas para cargas uniformemente distribuidas w.

Tabla 2. 6 – coeficientes K según el tipo de apoyo del elemento (adaptada de la referencia 3.1)

	K
1. Voladizos (no incluye la flecha debida a la rotación en los apoyos)	2,40
2. Vigas simples	1,0
3. Vigas continuas	1,2-0,2M _o /M _a
4. Vigas con un extremo fijo y otro articulado (flecha en el centro del tramo)	0,80
5. Vigas con un extremo fijo y otro articulado (máxima flecha usando el máximo momento)	0,74
6. Vigas con ambos extremos fijos	0,60
<p>M_o = Momento en el centro de un tramo simple $\left(\frac{wl^2}{8} \right)$</p> <p>M_a = Momento neto en el centro del tramo</p>	

2.2.3. Flecha diferida para vigas y losas en una dirección (métodos de cálculo)

Las flechas instantáneas pueden presentar incrementos de hasta dos y tres veces su valor inicial debido a una carga sostenida lo largo del tiempo, estos incrementos son causados principalmente por los efectos de fluencia lenta y retracción del fraguado, formación de nuevas fisuras y ensanchamiento de fisuras ya existentes. Los principales factores que afectan las flechas a largo plazo son:

- Las tensiones en el concreto.
- El porcentaje de acero en la sección.
- Las dimensiones del elemento.
- Las condiciones del curado.
- La temperatura.
- La humedad relativa.

- La edad del concreto en el momento de aplicación de la carga.
- La duración de la carga.

La fluencia lenta por lo general domina en la mayoría de los casos, pero la retracción es también importante, dada la variabilidad de los parámetros que afectan a ambos efectos, su influencia en la flecha a largo plazo debe ser estimada.

Método de ACI 318

Se basa en estimar la flecha a largo plazo en función de la flecha instantánea multiplicada por un valor un factor λ que considera conjuntamente los efectos de fluencia y retracción.

$$\lambda = \xi / (1 + 50\rho') \quad (2- 12)$$

Dónde:

$$\rho' = A'_s / bd \text{ Cuantía de armadura comprimida.} \quad (2- 13)$$

Tabla 2. 7 – Valores de ξ en función del tiempo(adaptada de la referencia 1.1)

Duración de la carga sostenida	ξ
5 años o más	2,0
12 meses	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1,0

2.2.4. Deflexiones máximas y espesores mínimos admisibles para vigas y losas armadas en una dirección.

Espesores mínimos

Las flechas en elementos sometidos a cargas habituales, generalmente serán satisfactorias cuando cumplan con las alturas o espesores mínimos de la tabla 2.8. La misma debe usarse para elementos que no soporten o estén unidos a componentes no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes flechas.

Tabla 2. 8– Altura mínima de viga o espesor mínimo de losas, a menos que se calcule la flecha (adaptada de la referencia 1.1)

Elementos	Altura o espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Con ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Vigas o losas en una dirección	$l/26$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

Flechas máximas permisibles

Las flechas calculadas, instantáneas o diferidas, no excederán los valores límites de la tabla 2.9. Las flechas se calcularán en base a los métodos y fórmulas usuales de la teoría elástica, considerando los efectos de la fisuración y del acero de refuerzo en la rigidez de los miembros.

Tabla 2. 9 – Flechas maximas permisibles (adaptada de la referencia 1.1)

Tipo de elemento	Deflexión considerada	Límite de deflexión
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles a sufrir daños debido a deflexiones grandes	Deflexión inmediata por carga viva	l/180
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles a sufrir daños debido a grandes deflexiones	Deflexión inmediata por carga viva	l/360
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga adicional)	l/480
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes		l/240

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

Este capítulo trata sobre la metodología adoptada para el desarrollo de la investigación y las distintas fases llevadas a cabo. También se definen las variables que fueron analizadas y el enfoque utilizado para cumplir con el desarrollo de los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

1. Tipo de investigación

El trabajo se realiza en función a una investigación documental, la cual se basó en la interpretación, análisis y selección de material existente, especializado en los problemas de fisuración y flecha en elementos de concreto armado. Así mismo, se llevó a cabo un desarrollo práctico basado en las teorías estudiadas, necesario para analizar la influencia de los distintos factores que influyen en los problemas mencionados.

2. Diseño de la investigación

La investigación inicio con la búsqueda de material especializado en la fisuración y flecha en elementos de concreto armado, esta incluye los requisitos estipulados en la norma venezolana y americana. En específico se tomó en cuenta la norma americana *ACI 318-08 "Building Code Requirements for Structural Concrete"* y la norma venezolana *COVENIN 1753-06 "Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural"*. La mayoría de la información es consecuente en ambas normas, salvo en algunos aspectos inherentes a la fisuración no tratados en la norma venezolana.

Se utilizó el capítulo 10 referente a flecha publicado en *"PCA Notes on ACI 318-08"* donde se amplían y explican las bases teóricas presentes en la norma americana. Así como también, lo referente a estados límites de servicio publicado en *"Diseño de Concreto Estructural"* (Arthur H. Nilson).

Por otro lado, se consultaron publicaciones realizadas por distintos comités del ACI especializados en el estudio de la fisuración y el capítulo inherente al tema, tratado en *"Patología y Terapéutica del Hormigón Armado"* (M. Fernández Cánovas).

Una vez realizado el estudio y análisis de la información necesaria, se procedió a la aplicación de las teorías y métodos para el cumplimiento de los objetivos pautados.

3. Variables y ecuaciones utilizadas en el desarrollo practico

En el capítulo anterior se definieron varios métodos de cálculo, ecuaciones y variables para estimar los valores de ancho de fisura y flecha en elementos flexionados. Así como también, las limitaciones impuestas a dichos valores por diversos organismos.

Con la finalidad de simplificar el análisis practico, se seleccionara un método determinado al abordar los problemas numéricos y se especificaran condiciones típicas en función del problema tratado.

Fisuración

- Se utilizara la ecuación 2-4 para el control de la fisuración, la cual limita la separación (s) entre los centros de las barras en la armadura traccionada.
- El valor de la separación máxima (s_{max}) en nervios de losa se compara con el ancho de la sección del nervio (usualmente 10 cm y 15 cm)
- Se tomara f_s como 2/3 de f_y

$$s \text{ (mm)} = \left[380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \right] \quad (2-4)$$

$$s \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_y = 4200 \frac{kgf}{cm^2} \equiv 414 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 276 \text{ Mpa}$$

Flecha

- Se utilizara la ecuación 2.11 para determinar la flecha inmediata, con un valor k igual a 0,6. Ya que se consideraran los apoyos fijos en todos los miembros.
- Se determinara la flecha a largo plazo multiplicando en valor de la flecha inmediata por el factor λ , obtenido mediante la ecuación 2.12. se considerara un tiempo igual o mayor a 5 años, es decir, el valor de ξ será igual a 2.

- Se determinaran las variables para calcular el momento de inercia de la sección mediante la tabla 2.5, según el caso de fisuración y la existencia o no de armadura confinada sometida a compresión.
- Se considerara el valor promedio del momento de inercia efectiva entre el centro del tramo y el apoyo (momentos positivos y negativos en el centro y en los apoyos respectivamente).
- Para determinar el momento de inercia en el apoyo, se considerara únicamente la sección de tipo rectangular.
- Las cargas de servicio se consideran uniformemente distribuidas. Las mismas incluyen el peso propio del elemento, peso de carga permanente (pavimento, plafón, instalaciones, friso, mampostería) y peso de cargas variables estipulados en las normas previstas (Referencia 2.2)
- El rango de valores utilizados para las cargas de servicio varía según el tipo de elemento estudiado.
- Las longitudes de los elementos se representan en metros, varían en función del tipo y necesidades típicas en el diseño.
- La cantidad de acero y porcentaje del mismo, varían en función del tipo de elemento y de las combinaciones típicas en el diseño.
- La flecha obtenida se compara con la estipulada en la tabla 2.9 para entresijos que no soporten ni estén ligados a elementos estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.
- Las losas se consideran simplemente armadas, ya que no se encuentran confinadas por estribos.
- Se considerara un valor de recubrimiento promedio de d' igual a 3 cm en losas y 4 cm en el caso de vigas.
- La relación entre el módulo de elasticidad del concreto y el del acero se considerara igual a 9.
- Los nervios de losas se consideran parcialmente empotrados.

Inercia efectiva

$$I_e = [M_{cr}/M_a]^3 I_g + [1 - (M_{cr}/M_a)^3] I_{cr} \leq I_g \quad (cm^4) \quad (2-8)$$

$$M_{cr} = (f_r I_g) / y_t \quad (kgf \cdot m) \quad (2-9)$$

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad (kgf / cm^2) \quad (2-10)$$

Flecha instantánea

$$\Delta_i = 0,6 (5/48) M_a l^2 / E_c I_e \quad (cm) \quad (2-11)$$

$$\lambda = \xi / (1 + 50\rho') \quad (2-12)$$

$$\rho' = A'_s / bd \quad (2-13)$$

Momento admisible de una sección rectangular simplemente armada

$$\phi Mn = 0,9 f'c b d^2 q' (1 - 0,59 q') \geq Mu \quad (2-14)$$

$$q' = \rho fy / f'c$$

Momento aplicado en vigas

$$Ma^+ = ql^2 / 20$$

$$Ma^- = q l^2 / 11$$

$$\Delta_i = q l^4 / 320 E_c I_e$$

Momento aplicado en losas

$$Ma^+ = ql^2 / 20$$

$$Ma^- = q l^2 / 11$$

$$\Delta_i = q l^4 / 320 E_c I_e \quad (\text{Debido a ajuste en momento positivo})$$

4. Enfoque del trabajo

El objetivo del trabajo consiste en analizar e interpretar los factores que influyen en los problemas de fisuración y flecha, para el alcance del mismo el trabajo se desarrolla según dos enfoques dependientes del problema estudiado.

En el estudio de la fisuración se hace énfasis en las causas que dan origen a la misma, como diferenciarlas según el tipo de fisura ocurrida y medidas que se pueden tomar para evitar o disminuir el daño. El problema es abordado de esta manera debido a la variabilidad en los datos y la poca precisión para determinar el ancho de fisura en un elemento.

El problema de la flecha excesiva además del enfoque teórico, se hace énfasis en el desarrollo práctico con el fin de determinar en qué casos es necesario mayor detallado en el estudio del problema.

5. Recolección de datos

La recolección de los datos utilizados para el desarrollo teórico del trabajo consistió en la búsqueda y análisis de las distintas publicaciones mencionadas al inicio de este capítulo. Para los datos utilizados en el desarrollo práctico además de utilizar dichas publicaciones, también se tomaron en cuenta las solicitudes típicas requeridas en el diseño y los datos necesarios para medir la influencia de distintas variables.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO PRÁCTICO

En el presente capítulo se desarrollan ejemplos prácticos en base a las consideraciones y ajustes expresados en el capítulo anterior. Para cada uno de los ejemplos, en primer lugar se presentará el enunciado, seguido de los datos necesarios, tales como características de la sección, propiedad de los materiales, disposición de la armadura, cargas y luces según el caso. Luego, se procederá a la realización de verificaciones para cumplir los objetivos del ejemplo. Finalmente, se presentan los resultados y el análisis de los mismos.

1. Fisuración

1.1. Control de fisuración por flexión en viga.

Se supone una viga de 40 *cm.* de ancho con A_s (requerida) = 20,00 cm^2 . y $f_y = 4.200 \text{ kgf}/cm^2$. Seleccionar diferentes disposiciones de barras para satisfacer la Ecuación (2.4) para controlar la fisuración por flexión.

a) Para 2 barras No 11 ($A_s = 20,14 \text{ cm}^2$)

Barras No 4 para estribos

Recubrimiento de protección = 4 *cm*

$$c_c = 40 + 12,7 = 52,7 \text{ mm}$$

$$f_s = 276 \text{ MPa}$$

Máxima separación permitida,

$$s = 380 \cdot (280/276) - 2,5 \cdot 52,7 = 254 \text{ mm.}$$

$$300 \cdot (280/276) = 304 \text{ mm.} > 254 \text{ mm.}$$

$$\text{Separación provista} = 400 - 2 \cdot (40 + 12,7 + (35,81/2)) = 259 \text{ mm.}$$

259 *mm.* > 254 *mm.* NO VERIFICA

b) Para 4 barras No 8 ($A_s = 20,28 \text{ cm}^2$)

Barras No 4 para estribos

Recubrimiento de protección = 4 cm

$$C_c = 52,7 \text{ mm}$$

$$f_s = 276 \text{ MPa}$$

Máxima separación permitida,

$$s = 254 \text{ mm.}$$

$$304 \text{ mm.} > 254 \text{ mm.}$$

$$\text{Separación provista} = 1/3 \cdot [400 - 2 \cdot (40 + 12,7 + (25,40 / 2))]$$

$$= 90 \text{ mm} < 254 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA}$$

En este ejemplo se observa que la disposición propuesta en la parte "a" no cumplió con los requerimientos, debido a que la separación provista es mayor a la máxima admisible. Aunque la diferencia entre ambas es de medio centímetro (5 mm).

1.2. Control por fisuración en losa.

Se supone una losa con nervios de 10 cm. con A_s (requerida) = $0,71 \text{ cm}^2$. y $f_y = 4.200 \text{ kgf/cm}^2$. Verificar si se satisface la Ecuación (2.4) para controlar la fisuración por flexión.

a) Barra No 3 ($A_s = 0,71 \text{ cm}^2$)

Recubrimiento de protección = 2,5 cm

$$C_c = 25,00 \text{ mm}$$

$$f_s = 276 \text{ MPa}$$

Máxima separación permitida,

$$s = 380 \cdot (280/276) - 2,5 \cdot 25,00 = 323 \text{ mm.}$$

$$300 \cdot (280/276) = 304 \text{ mm.} < 323 \text{ mm.}$$

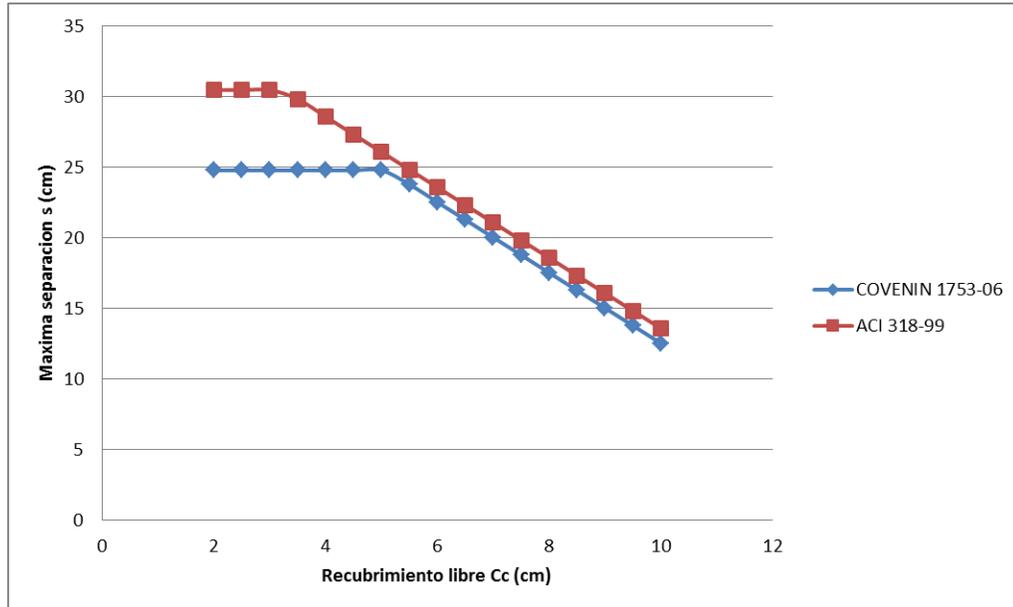
Separación provista= 100 mm (ancho de la cara en tracción extrema)

304 mm. > 100 mm. VERIFICA

En este ejemplo cabe destacar que asumir un recubrimiento de 2,5 cm. en los nervios de losas puede ser excesivo, ya que a menudo se utiliza menos recubrimiento o ninguno (barras apoyadas directamente sobre el encofrado). Si se considera por ejemplo un recubrimiento de un milímetro (1 mm.) la separación "s" de la ecuación (2.4) aumentaría, pero no deberá ser mayor de 30 cm. aproximadamente, valor mucho mayor al de los anchos usuales de nervios (10 cm. a 15 cm.), lo cual representa un margen de seguridad significativo. Dicho esto, quedaría por verificar si el uso de un recubrimiento mínimo cumpliría con los requerimientos para controlar y evitar la corrosión del refuerzo.

1.3. Influencia del recubrimiento libre c_c en la separación máxima permitida

A continuación el gráfico 4.1 muestra la variación de la separación (s) requerida en las ecuaciones 2-4 y 2-5 para diversos valores de recubrimiento libre (c_c) y un valor promedio de $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$.

Grafico 4. 1– Separación máxima permitida vs recubrimiento libre

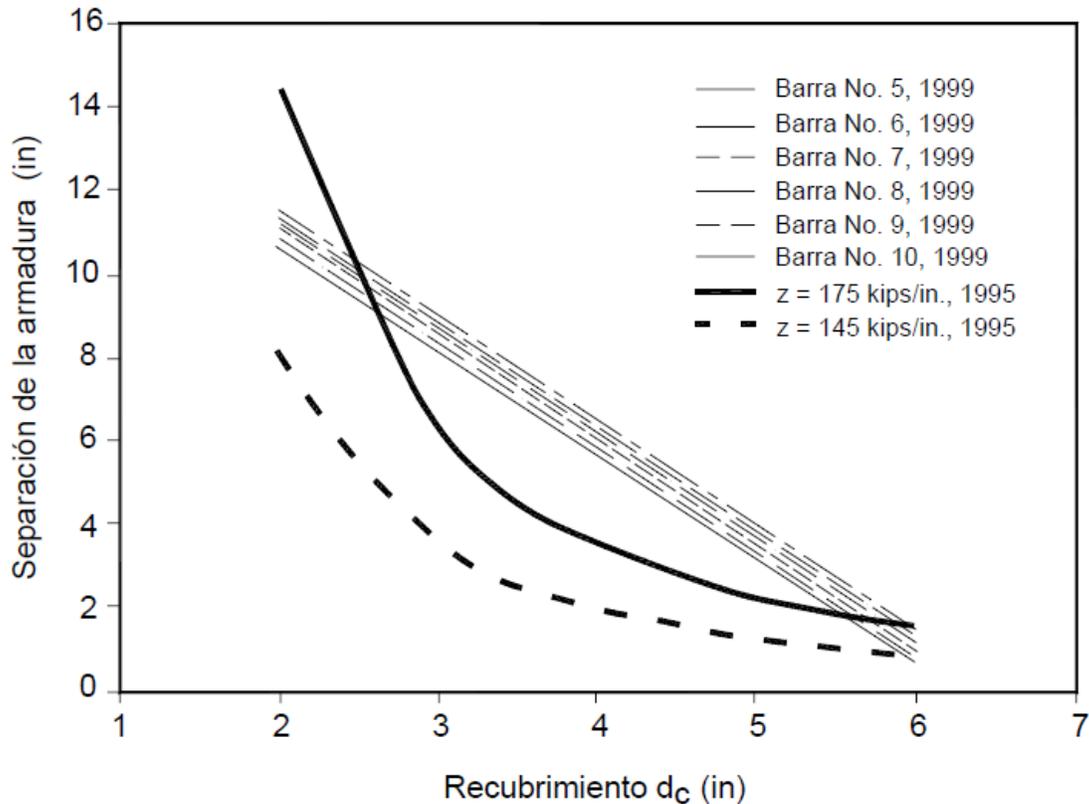
En el grafico es apreciable que a medida que aumenta el recubrimiento libre es necesario disminuir la separación entre las barras de la armadura para cumplir con los requerimientos de control de la fisuración en elementos flexionados. También se aprecia que la norma venezolana es más exigente en cuanto a la máxima separación permitida, arrojando menores valores de s para un mismo recubrimiento libre c_c , alrededor de 1,2 veces menores que los estimados por la norma americana.

1.4. Comparación entre los códigos ACI 318-95 y ACI 318-99

En el siguiente grafico se comparan la separación máxima entre barras para losas con una sola capa de armadura, para ello se utiliza la ecuación 2-3 colocando el área efectiva traccionada A en función del recubrimiento d_c lo cual es posible para el caso específico donde hay una sola capa de armadura, quedando la ecuación 2-3 con la siguiente forma:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} = f_s \sqrt[3]{d_c (2 d_c s)}$$

Grafico 4.2 – Maxima separación de la armadura para losas, ACI 318-95 vs ACI 318-99 (adaptado de la referencia 3.1)



Se observa la diferencia que existe entre los valores arrojados por ambos métodos, la cual es más acentuada entre los recubrimientos d_c comprendidos entre 2 y 4 pulgadas (5 a 10 cm).

2. Flecha

Los valores obtenidos en los ejemplos presentados a continuación fueron obtenidos, mediante la utilización del programa Microsoft Excel. Los mismos están fundamentados en lo expresado en los capítulos anteriores

A continuación se procederá a mostrar diversos ejemplos donde se determinan los valores de la flecha en vigas y losas típicas en los cuales se varían diversos parámetros para determinar su influencia en el cálculo de la misma, estos son la base para las conclusiones y recomendaciones.

Las variables necesarias para determinar la inercia efectiva son obtenidos de en base a las expresiones de la tabla 2.5. Como se observó anteriormente,

dicha inercia es resultado del promedio de la inercia equivalente del apoyo y la del tramo central, su valor está limitado por la inercia de la sección sin agrietar I_g .

2.1. Flecha en losas

Para el estudio de la flecha en losas se toma en consideración las combinaciones de acero que van desde 1 barra # 3 ($0,71 \text{ cm}^2$) hasta 1 barra # 5 más 2 barras # 4 ($4,51 \text{ cm}^2$), las cargas de servicio q se varían entre 400 kgf/cm^2 y 600 kgf/m , las longitudes de nervio estudiadas L varían desde los 4 m hasta los 8 m. Se denominara A_s a el acero inferior del tramo central y A_s' al superior existente en el apoyo, no se considera el aporte del acero a compresión en ninguno de los casos ya que el mismo no se encuentra confinado por estribos a diferencia del caso de las vigas. Las secciones estudiadas son rectangulares salvo en los casos que se diga lo contrario. Los porcentajes mostrados al comparar las disminuciones en los valores de las flechas están expresados en número de veces que el valor comparado es menor que el valor base.

2.1.1. Valores de la inercia crítica en losas, según su espesor

A continuación se muestran los valores de parámetros necesarios en el cálculo de la flecha, determinados según la tabla 2.5 para las secciones simplemente armadas.

DATOS GENERICOS

$f_y =$	4200	kgf/cm ²
$f'_c =$	250	kgf/cm ²
$E_c =$	238752	modulo de elasticidad del concreto
$E_s =$	2100000	modulo de elasticidad del acero
$n =$	9	relacion entre modulos de elasticidad
$b =$	10	cm
$d' =$	3	cm
$f_r =$	31.6	kgf/cm ²

Icr (cm⁴), h=20 (cm)				
Nº Barra	As (cm²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	4.07	1293
1 φ #4	1.27	0.87	5.19	2060
2 φ #3	1.42	0.78	5.44	2244
1 φ #5	1.98	0.56	6.20	2873
2 φ #4	2.53	0.44	6.81	3417
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	6.97	3564
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	7.47	4046
3 φ #4	3.81	0.29	7.90	4483
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	8.37	4978

Icr (cm⁴), h=25 (cm)				
Nº Barra	As (cm²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	4.70	2259
1 φ #4	1.27	0.87	6.04	3646
2 φ #3	1.42	0.78	6.33	3984
1 φ #5	1.98	0.56	7.25	5147
2 φ #4	2.53	0.44	7.99	6170
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	8.18	6448
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	8.79	7368
3 φ #4	3.81	0.29	9.32	8212
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	9.91	9177

Icr (cm⁴), h=30 (cm)				
Nº Barra	As (cm²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	5.27	3505
1 φ #4	1.27	0.87	6.80	5712
2 φ #3	1.42	0.78	7.13	6254
1 φ #5	1.98	0.56	8.19	8136
2 φ #4	2.53	0.44	9.04	9807
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	9.27	10266
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	9.98	11787
3 φ #4	3.81	0.29	10.60	13193
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	11.29	14815

Se puede observar como aumenta el momento de inercia de la sección fisurada **Icr** casi en la misma proporción en la que lo hace el acero para una misma altura de losa. Mucho más notable es la variación que se aprecia al

aumentar dicha altura **h** donde se consiguen valores de hasta 2 y 3 veces mayores según los espesores comparados.

2.1.2. Flechas instantánea en losa con requerimientos mínimos de acero, según las combinaciones utilizadas

Para las comparaciones realizadas en esta parte se determinaron los valores de momentos admisibles **Ma** según la ecuación 2-14, los cuales varían en función el espesor de losa y las combinaciones utilizadas, los mismos se usan de referencia para seleccionar el acero necesario por resistencia para cumplir con los momentos actuantes o últimos **Mu** correspondientes a la longitud y carga en el nervio.

Ma				
# Barras	As (cm ²)	d (cm)		
		17	22	27
1 φ #3	0.71	439	573	708
1 φ #4	1.27	754	993	1232
2 φ #3	1.42	839	1109	1378
1 φ #5	1.98	1125	1499	1872
2 φ #4	2.53	1387	1866	2344
1 φ #3 + #5	2.69	1458	1966	2475
1 φ #4 + #5	3.25	1690	2304	2917
3 φ #4	3.81	1900	2618	3336
1φ #5+ 2φ#4	4.51	2136	2989	3841

Mu ⁺							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			320	360	400	440	480
4.5			405	456	506	557	608
5			500	563	625	688	750
5.5			605	681	756	832	908
6			720	810	900	990	1080
6.5			845	951	1056	1162	1268
7			980	1103	1225	1348	1470
7.5			1125	1266	1406	1547	1688
8			1280	1440	1600	1760	1920

Mu ⁻							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4		582	655	727	800	873	
4.5		736	828	920	1013	1105	
5		909	1023	1136	1250	1364	
5.5		1100	1238	1375	1513	1650	
6		1309	1473	1636	1800	1964	
6.5		1536	1728	1920	2113	2305	
7		1782	2005	2227	2450	2673	
7.5		2045	2301	2557	2813	3068	
8		2327	2618	2909	3200	3491	

Los recuadros sombreados en gris representan aquellos valores que exceden la flecha máxima permisible estipulada en la tabla 2.9 (L/360) y los sombreados en amarillo representan los valores de momento que no se satisfacen con las combinaciones de acero seleccionadas.

Δ _i (h=20)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4		0.52	0.66	0.79	0.88	0.75	
4.5		1.02	1.00	1.01	1.13	1.25	
5		1.23	1.41	1.44	1.60	1.76	
5.5		1.86	1.91	2.14	2.07	2.06	
6		2.42	2.39	2.43	2.52	2.58	
6.5		2.68	2.84	2.96	3.05		
7		3.40	3.59				
7.5		4.21					
8							

Δi (h=25)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.15	0.20	0.26	0.33	0.41
4.5			0.34	0.46	0.58	0.67	0.69
5			0.69	0.85	0.79	0.90	1.01
5.5			1.02	1.08	1.24	1.26	1.39
6			1.38	1.61	1.64	1.83	1.90
6.5			1.79	2.05	2.18	2.02	2.21
7			2.46	2.43	2.48	2.56	2.62
7.5			2.60	2.94	3.07	2.95	
8			3.18	3.58	3.48		

Δi (h=30)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.07	0.09	0.10	0.12	0.13
4.5			0.13	0.15	0.20	0.26	0.33
5			0.24	0.33	0.44	0.53	0.58
5.5			0.49	0.63	0.71	0.76	0.87
6			0.77	0.86	1.02	1.17	1.19
6.5			1.08	1.30	1.36	1.53	1.65
7			1.57	1.66	1.89	2.00	1.84
7.5			1.96	2.19	2.02	2.23	2.29
8			2.52	2.35	2.64	2.73	2.59

Se puede observar que en algunos casos para losas de 20 cm y 25 cm de espesor la combinación máxima de aceros considerada no es suficiente para satisfacer los requisitos de diseño por flexión, también se observa que en algunas condiciones donde se cumplieron con dichos requisitos no se cumplieron con los de la flecha máxima admisible.

2.1.3. Influencia del espesor de losa en la flecha

A continuación se muestran los valores de la flecha instantánea para la combinación de acero seleccionada, en la cual se varían los espesores de losa seguidos del porcentaje de disminución en la flecha según el caso.

$$As' = 4.51 \text{ cm}^2$$

$$As = 4.51 \text{ cm}^2$$

$\Delta i \text{ (cm), } h=20 \text{ (cm)}$							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.25	0.29	0.33	0.36	0.40
4.5			0.42	0.48	0.53	0.59	0.64
5			0.65	0.73	0.82	0.90	0.98
5.5			0.95	1.08	1.20	1.32	1.44
6			1.36	1.53	1.70	1.87	2.04
6.5			1.87	2.11	2.34	2.58	2.81
7			2.52	2.84	3.15	3.47	3.79
7.5			3.32	3.74	4.16	4.57	4.99
8			4.30	4.84	5.38	5.92	6.46

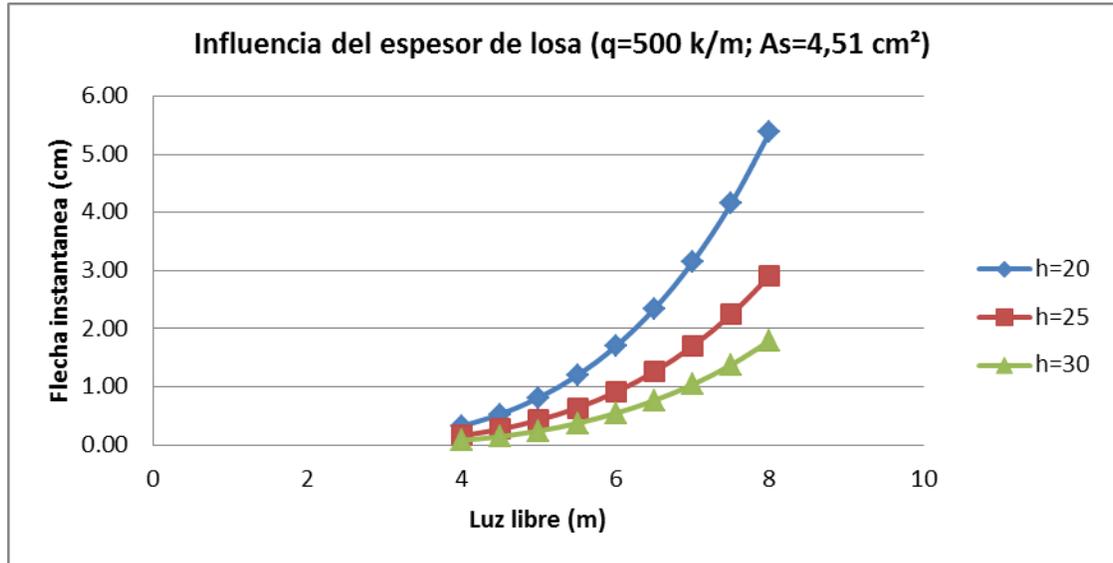
$\Delta i \text{ (cm), } h=25 \text{ (cm)}$							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
4.5			0.21	0.24	0.27	0.31	0.34
5			0.33	0.38	0.43	0.48	0.52
5.5			0.50	0.57	0.64	0.71	0.77
6			0.72	0.82	0.91	1.01	1.10
6.5			1.00	1.13	1.26	1.39	1.52
7			1.36	1.53	1.70	1.88	2.05
7.5			1.79	2.02	2.25	2.48	2.70
8			2.33	2.62	2.91	3.21	3.50

Δi (cm), h=30 (cm)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.06	0.07	0.08	0.09	0.11
4.5			0.11	0.12	0.15	0.17	0.19
5			0.18	0.21	0.24	0.28	0.31
5.5			0.28	0.33	0.38	0.42	0.46
6			0.42	0.49	0.55	0.61	0.67
6.5			0.60	0.68	0.77	0.85	0.93
7			0.82	0.93	1.04	1.15	1.26
7.5			1.09	1.24	1.38	1.52	1.67
8			1.43	1.61	1.80	1.98	2.16

% de disminucion de Δi en losa de h=25 vs losa h=20							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			2.2	2.1	2.0	2.0	2.0
4.5			2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
5			1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
5.5			1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
6			1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
6.5			1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
7			1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
7.5			1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
8			1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

% de disminucion de Δi en losa de h=30 vs losa h=20						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		3.9	3.9	3.9	3.8	3.8
4.5		3.8	3.8	3.7	3.5	3.4
5		3.7	3.5	3.3	3.3	3.2
5.5		3.4	3.3	3.2	3.1	3.1
6		3.2	3.1	3.1	3.1	3.0
6.5		3.1	3.1	3.1	3.0	3.0
7		3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
7.5		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
8		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

% de disminucion de Δi en losa de h=30 vs losa h=25						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		1.8	1.8	1.9	1.9	1.9
4.5		1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
5		1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
5.5		1.8	1.7	1.7	1.7	1.7
6		1.7	1.7	1.7	1.7	1.6
6.5		1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
7		1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
7.5		1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
8		1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

Grafico 4. 3 – Influencia del espesor de losa

Se observa que al aumentar el espesor de losa los valores de la flecha disminuyen, la disminucion se hace menos pronunciada a medida que aumenta la luz del nervio para una misma condicion de carga. Se pueden observar disminuciones en la flecha de hasta 4 veces el valor obtenido en losas de 20cm al compararlas con losas de 30cm de espesor.

2.1.4. Influencia del acero en la flecha

A continuación se muestran valores de la flecha instantánea en una losa de 30 cm de espesor, donde se varia el acero del tramo central (A_s) y se mantiene fijo el acero en el apoyo (A_s'). Puede que los siguientes ejemplos no cumplan con los requisitos de resistencia por flexión y flechas admisibles, pero cumplen el objetivo de apreciar la influencia que tiene el acero en la determinación de la flecha.

$$As' = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$As = 0.71 \text{ cm}^2$$

Δi (cm), h=30 (cm)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.07	0.09	0.11	0.12	0.14
4.5			0.14	0.16	0.21	0.29	0.37
5			0.25	0.36	0.49	0.63	0.78
5.5			0.54	0.74	0.96	1.19	1.41
6			1.02	1.33	1.65	1.98	2.29
6.5			1.71	2.15	2.59	3.02	3.43
7			2.64	3.22	3.79	4.33	4.86
7.5			3.82	4.56	5.27	5.96	6.62
8			5.27	6.18	7.07	7.92	8.76

$$As' = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$As = 1.42 \text{ cm}^2$$

Δi (cm), h=30 (cm)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.07	0.09	0.11	0.12	0.14
4.5			0.14	0.16	0.21	0.27	0.34
5			0.25	0.34	0.45	0.56	0.67
5.5			0.50	0.66	0.82	0.99	1.15
6			0.89	1.12	1.35	1.57	1.79
6.5			1.42	1.73	2.03	2.32	2.60
7			2.10	2.50	2.89	3.26	3.62
7.5			2.95	3.46	3.94	4.41	4.88
8			3.99	4.62	5.22	5.82	6.40

$$As' = 0.71 \text{ cm}^2$$

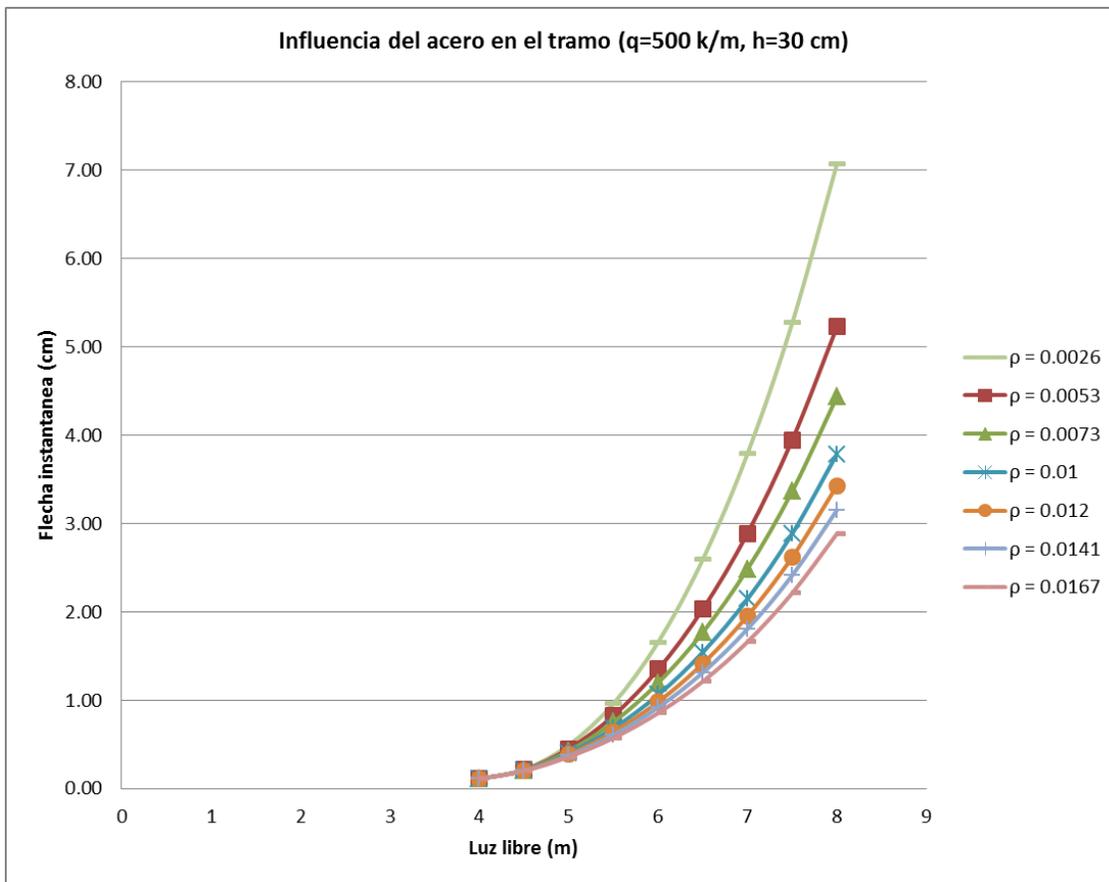
$$As = 2.53 \text{ cm}^2$$

Δi (h=30)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.07	0.09	0.11	0.12	0.14
4.5			0.14	0.16	0.20	0.26	0.31
5			0.24	0.32	0.40	0.49	0.57
5.5			0.46	0.58	0.70	0.81	0.92
6			0.76	0.93	1.09	1.24	1.39
6.5			1.16	1.38	1.58	1.79	1.98
7			1.66	1.94	2.21	2.47	2.72
7.5			2.28	2.63	2.97	3.31	3.64
8			3.04	3.48	3.91	4.33	4.75

% de disminucion de Δi $\rho=0,0053$ vs $\rho=0,0026$							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4.5			1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
5			1.0	1.1	1.1	1.1	1.2
5.5			1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
6			1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
6.5			1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
7			1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
7.5			1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
8			1.3	1.3	1.4	1.4	1.4

% de disminucion de Δi $\rho=0,0094$ vs $\rho=0,0026$							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4	1.0						
4.5	1.0						
5	1.0						
5.5	1.2						
6	1.3						
6.5	1.5						
7	1.6						
7.5	1.7						
8	1.7						

Grafico 4. 4 – Influencia del acero en el tramo central en losas



Una vez observada la influencia del As se procede a mostrar en caso contrario, donde se deja fijo el As y se varia el As'.

$$As' = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$As = 0.71 \text{ cm}^2$$

$\Delta i (h=30)$						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.07	0.09	0.11	0.12	0.14
4.5		0.14	0.16	0.21	0.29	0.37
5		0.25	0.36	0.49	0.63	0.78
5.5		0.54	0.74	0.96	1.19	1.41
6		1.02	1.33	1.65	1.98	2.29
6.5		1.71	2.15	2.59	3.02	3.43
7		2.64	3.22	3.79	4.33	4.86
7.5		3.82	4.56	5.27	5.96	6.62
8		5.27	6.18	7.07	7.92	8.76

$$As' = 1.42 \text{ cm}^2$$

$$As = 0.71 \text{ cm}^2$$

$\Delta i (h=30)$						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.07	0.09	0.10	0.11	0.13
4.5		0.13	0.15	0.19	0.25	0.32
5		0.23	0.32	0.43	0.53	0.64
5.5		0.47	0.63	0.79	0.96	1.12
6		0.85	1.08	1.31	1.54	1.76
6.5		1.37	1.69	1.99	2.29	2.57
7		2.06	2.46	2.85	3.23	3.60
7.5		2.91	3.42	3.91	4.39	4.85
8		3.95	4.58	5.19	5.79	6.38

$$As' = 2.53 \text{ cm}^2$$

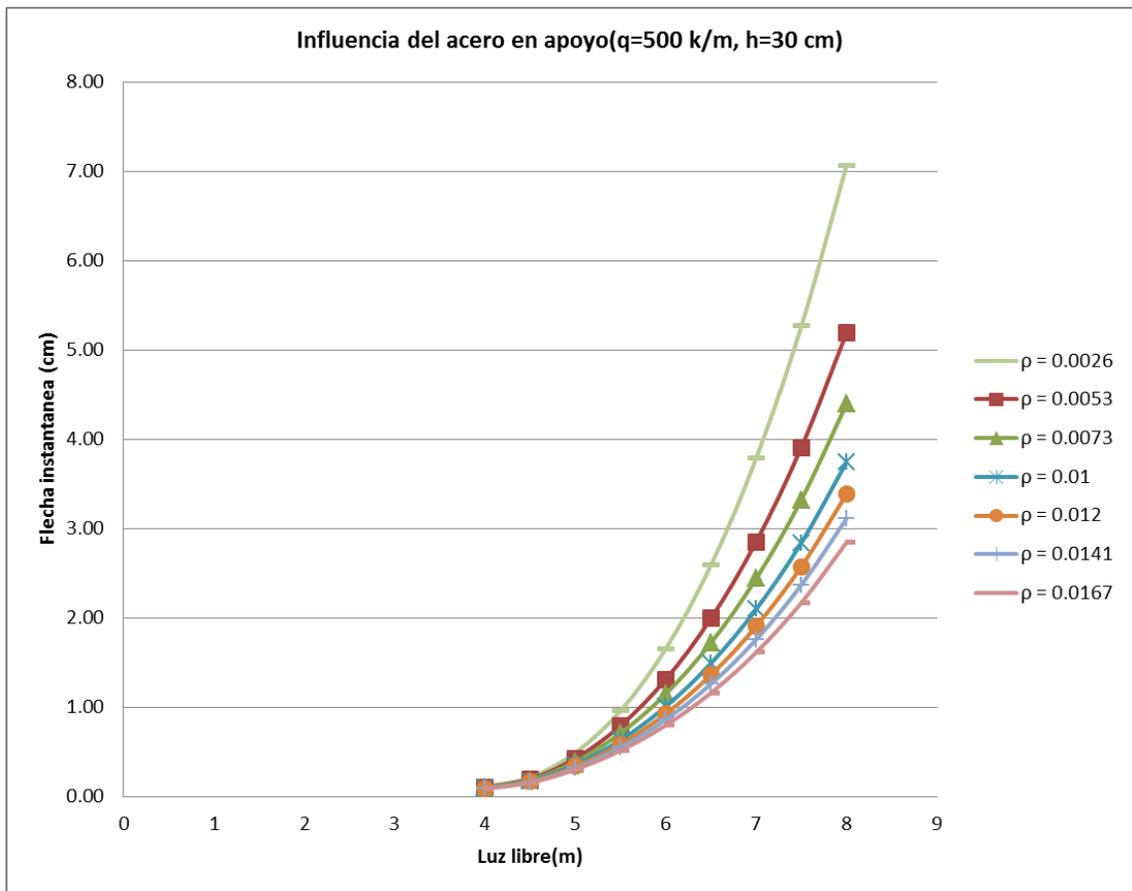
$$As = 0.71 \text{ cm}^2$$

Δi (h=30)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.07	0.08	0.09	0.11	0.12
4.5		0.12	0.14	0.17	0.22	0.28
5		0.21	0.28	0.36	0.44	0.53
5.5		0.41	0.53	0.65	0.76	0.88
6		0.70	0.87	1.03	1.19	1.35
6.5		1.10	1.32	1.53	1.74	1.94
7		1.60	1.89	2.16	2.43	2.69
7.5		2.22	2.58	2.93	3.27	3.61
8		2.98	3.43	3.87	4.30	4.72

% de disminucion de Δi $\rho=0,0053$ vs $\rho=0,0026$						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
4.5		1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
5		1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
5.5		1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
6		1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
6.5		1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
7		1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
7.5		1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
8		1.3	1.4	1.4	1.4	1.4

% de disminucion de Δi $\rho=0,0094$ vs $\rho=0,0026$							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
4.5			1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
5			1.2	1.3	1.4	1.4	1.5
5.5			1.3	1.4	1.5	1.5	1.6
6			1.4	1.5	1.6	1.7	1.7
6.5			1.6	1.6	1.7	1.7	1.8
7			1.6	1.7	1.8	1.8	1.8
7.5			1.7	1.8	1.8	1.8	1.8
8			1.8	1.8	1.8	1.8	1.9

Grafico 4. 5 – Influencia del acero en el apoyo en losas



Se observa que la variación del acero en apoyo y en el tramo central influyen de manera similar y en ambos casos se hace más notable a medida que aumenta la longitud del nervio. Cabe destacar que para luces menores a 5,5 m el aumentar A_s o A_s' no disminuye de manera significativa los valores de la flecha.

2.1.5. Influencia de considerar la sección "T" en el cálculo de la flecha

En el siguiente ejemplo se comparan las flechas instantáneas obtenidas en un nervio de sección rectangular con la de uno con sección T, en donde se considera el ancho superior b igual a 50 cm y el espesor h_f igual a 5 cm.

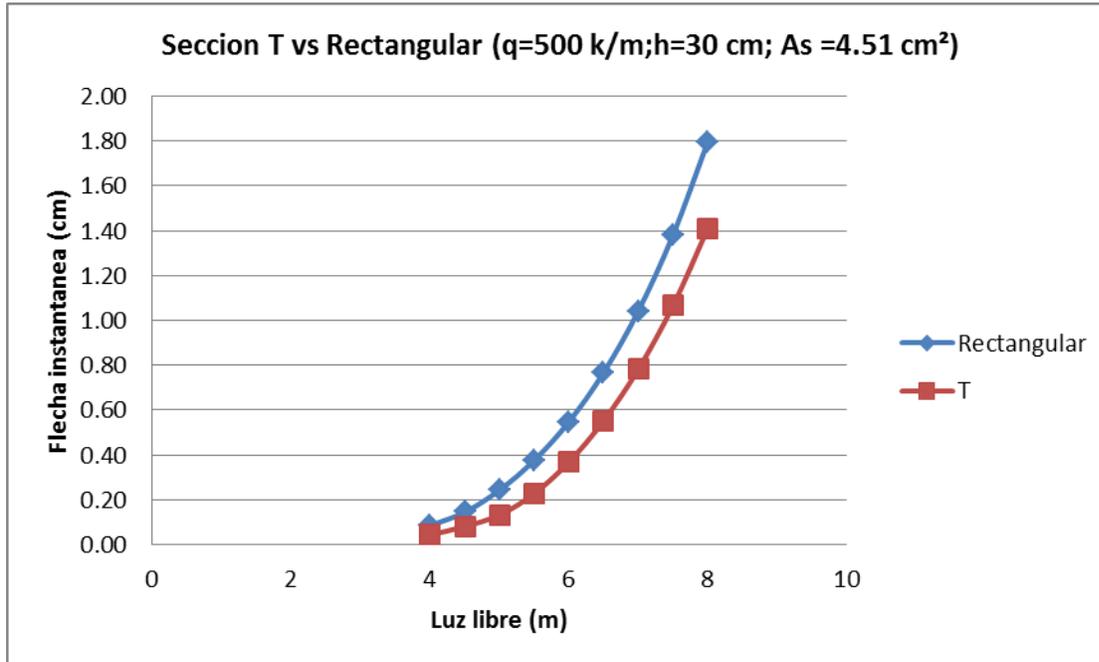
$$A_s' = 4.51 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4.51 \text{ cm}^2$$

Δi SECC "T", $h = 30$ (cm)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.03	0.04	0.04	0.05	0.06
4.5			0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
5			0.10	0.12	0.13	0.16	0.19
5.5			0.15	0.18	0.23	0.27	0.31
6			0.25	0.31	0.37	0.43	0.49
6.5			0.39	0.47	0.55	0.63	0.71
7			0.57	0.68	0.78	0.88	0.98
7.5			0.80	0.94	1.07	1.19	1.32
8			1.08	1.25	1.41	1.57	1.72

Δi , SECC "RECT" h= 30 (cm)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.06	0.07	0.08	0.09	0.11
4.5		0.11	0.12	0.15	0.17	0.19
5		0.18	0.21	0.24	0.28	0.31
5.5		0.28	0.33	0.38	0.42	0.46
6		0.42	0.49	0.55	0.61	0.67
6.5		0.60	0.68	0.77	0.85	0.93
7		0.82	0.93	1.04	1.15	1.26
7.5		1.09	1.24	1.38	1.52	1.67
8		1.43	1.61	1.80	1.98	2.16

% Disminucion de la flecha seccion "T" vs Rectangular						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		2.0	2.1	1.9	1.8	1.8
4.5		1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
5		1.8	1.8	1.8	1.8	1.7
5.5		1.8	1.8	1.7	1.6	1.5
6		1.7	1.6	1.5	1.4	1.4
6.5		1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
7		1.4	1.4	1.3	1.3	1.3
7.5		1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
8		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Grafico 4. 6 – Influencia de la sección T en losas

Se observa que la losa de sección T presenta una reducción en el valor de la flecha al compararla con la rectangular, dicha reducción se hace menos pronunciada a medida que aumenta la luz del elemento. Para este ejemplo en particular se observan reducciones de hasta 2 veces el valor de la flecha, pero en losas de 20 cm de espesor dichas reducciones pueden ser de hasta 3 veces.

2.2. Flecha en vigas

Para el estudio de la flecha en vigas en lugar de variar distintas combinaciones de acero se optó por variar la relación entre áreas de acero y concreto ρ' en un rango de 0,0033 hasta 0,012. Las cargas de servicio q se varían entre 3000 kgf/cm² y 5000 kgf/m, las longitudes de viga estudiadas L varían desde los 6 m hasta los 9 m. Se considera el aporte del acero a compresión ya que el mismo se encuentra confinado por estribos. Las secciones estudiadas son rectangulares salvo en los casos que se diga lo contrario.

2.2.1. Valores de la inercia critica en vigas, según su sección**DATOS**

fy =	4200	kgf/cm ²
f'c =	250	kgf/cm ²
Ec =	238752	modulo de elasticidad del concreto
Es =	2100000	modulo de elasticidad del acero
n =	9	relacion entre modulos de elasticidad
h =	60	cm
b =	30	cm
d' =	4	cm
d =	56.00	cm
fr =	31.6	kgf/cm ²
Ig =	540000	cm ⁴
Mcr =	5692	kgf*m

Icr (cm ⁴) Viga 30x60												
p	As (cm ²)	Icr (cm ⁴)										
		0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	
0.0033	5.94	123786	124382	125201	125987	126742	127469	128170	128847	129502	130136	
0.0040	7.20	145600	146360	147405	148407	149368	150291	151180	152036	152863	153661	
0.0050	9.00	175086	176085	177460	178779	180044	181260	182430	183556	184642	185690	
0.0060	10.80	202882	204119	205826	207465	209040	210556	212015	213420	214776	216085	
0.0070	12.60	229220	230694	232732	234691	236577	238394	240145	241834	243465	245040	
0.0080	14.40	254281	255990	258353	260631	262826	264944	266988	268962	270869	272713	
0.0090	16.20	278209	280148	282833	285424	287926	290343	292678	294936	297120	299234	
0.0100	18.00	301121	303285	306287	309188	311992	314704	317328	319868	322328	324711	
0.0110	19.80	323116	325501	328813	332018	335120	338124	341033	343852	346586	349237	
0.0120	21.60	344276	346878	350495	353998	357393	360684	363875	366971	369974	372890	

DATOS

fy =	4200	kgf/cm ²
f'c =	250	kgf/cm ²
Ec =	238752	modulo de elasticidad del concreto
Es =	2100000	modulo de elasticidad del acero
n =	9	relacion entre modulos de elasticidad
h =	70	cm
b =	35	cm
d' =	4	cm
d =	66.00	cm
fr =	31.6	kgf/cm ²
Ig =	1000417	cm ⁴
Mcr =	9039	kgf*m

Icr (cm⁴) Viga 35x70													
		p'	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	
		As' (cm²)	8.085	9.800	12.250	14.700	17.150	19.600	22.050	24.500	26.950	29.400	
p	As (cm²)												
0.0033	8.09	235153	236407	238123	239756	241313	242801	244224	245588	246897	248156		
0.0040	9.80	276606	278195	280371	282445	284425	286317	288128	289863	291528	293127		
0.0050	12.25	332645	334713	337555	340270	342867	345354	347737	350023	352219	354329		
0.0060	14.70	385475	388021	391526	394884	398103	401192	404159	407010	409751	412390		
0.0070	17.15	435542	438558	442720	446717	450557	454250	457802	461222	464516	467691		
0.0080	19.60	483187	486667	491476	496104	500559	504851	508987	512975	516823	520537		
0.0090	22.05	528684	532618	538063	543312	548374	553258	557973	562526	566926	571178		
0.0100	24.50	572255	576632	582701	588561	594221	599690	604977	610090	615036	619824		
0.0110	26.95	614085	618898	625577	632036	638283	644328	650180	655845	661333	666651		
0.0120	29.40	654334	659572	666850	673896	680720	687331	693738	699949	705972	711814		

DATOS

fy =	4200	kgf/cm ²
f'c =	250	kgf/cm ²
Ec =	238752	modulo de elasticidad del concreto
Es =	2100000	modulo de elasticidad del acero
n =	9	relacion entre modulos de elasticidad
h =	80	cm
b =	40	cm
d' =	4	cm
d =	76.00	cm
fr =	31.6	kgf/cm ²
Ig =	1706667	cm ⁴
Mcr =	13492	kgf*m

Icr (cm⁴) Viga 40x80													
p	As (cm²)	p'	As' (cm²)	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
0.0033	10.56	10.560	12.800	16.000	19.200	22.400	25.600	28.800	32.000	35.200	38.400		
0.0040	12.80	408754	411104	414307	417344	420228	422970	425582	428072	430451	432726		
0.0050	16.00	480819	483776	487819	491662	495320	498804	502127	505301	508335	511238		
0.0060	19.20	578243	582069	587316	592321	597100	601667	606034	610214	614218	618058		
0.0070	22.40	670097	674781	681224	687389	693292	698948	704372	709575	714571	719370		
0.0080	25.60	757154	762683	770305	777618	784638	791380	797860	804090	810084	815854		
0.0090	28.80	840009	846366	855147	863590	871713	879532	887061	894314	901305	908047		
0.0100	32.00	919135	926302	936218	945773	954983	963864	972430	980698	988680	996389		
0.0110	35.20	994918	1002877	1013906	1024551	1034828	1044755	1054345	1063615	1072578	1081247		
0.0120	38.40	1067681	1076413	1088531	1100244	1111570	1122524	1133123	1143382	1153313	1162932		
		1137698	1147187	1160369	1173128	1185482	1197447	1209037	1220269	1231156	1241713		

2.2.2. Flecha instantánea en vigas con requerimientos mínimos de acero por flexión.

En el siguiente ejemplo se determinaron los aceros mínimos requeridos por flexión en función a las solicitaciones de cada caso, luego con la combinación de aceros obtenidos se determinaron los valores de la flecha instantánea para distintos tamaños de viga.

Δi (cm), Viga 30x60					
		q (Kgf/m)	3000	4000	5000
L (m)					
6			0.11	0.22	0.34
7			0.32	0.53	0.62
8			0.67	0.86	0.95
9			1.07	1.22	1.29

Δi (cm), Viga 35x70					
		q (Kgf/m)	3000	4000	5000
L (m)					
6			0.05	0.08	0.10
7			0.11	0.18	0.30
8			0.22	0.45	0.62
9			0.49	0.80	0.91

Δi (cm), Viga 40x80					
		q (Kgf/m)	3000	4000	5000
L (m)					
6			0.02	0.03	0.05
7			0.05	0.08	0.11
8			0.10	0.15	0.25
9			0.17	0.33	0.54

En los valores de flecha mostrados se aprecia que no se exceden las flechas máximas permisibles según lo estipulado en la tabla 2.5. Cabe destacar que para estos valores la flecha diferida aumenta 1,7 veces, ya que poseen un acero ρ' mínimo constante en el tramo central. Este aumento hace que para las sollicitaciones más extremas de luz y carga el control de la flecha sea limitado.

2.2.3. Influencia del tamaño de viga en el cálculo de la flecha

En el siguiente ejemplo se determinan los valores de la flecha instantánea para vigas de 30x60, 35x70 y 40x80 donde se mantienen constante los valores de ρ y ρ' .

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.012	0.004	0.012
ρ	0.008	0.008	0.008

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.09	0.12	0.15	0.18	0.20
6.5			0.14	0.18	0.22	0.26	0.29
7			0.21	0.26	0.31	0.36	0.40
7.5			0.29	0.36	0.42	0.48	0.54
8			0.39	0.48	0.55	0.63	0.71
8.5			0.52	0.62	0.72	0.81	0.91
9			0.66	0.79	0.91	1.03	1.15

Ie (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			467813	424076	385873	362793	348035
6.5			422033	379936	356303	342025	332895
7			381222	354235	339085	329932	324080
7.5			356516	338677	328662	322612	318744
8			341047	328936	322137	318029	315402
8.5			331073	322655	317929	315073	313248
9			324472	318498	315144	313118	311822

35x70 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
6.5			0.06	0.08	0.09	0.11	0.13
7			0.09	0.10	0.13	0.16	0.19
7.5			0.12	0.15	0.19	0.23	0.26
8			0.16	0.21	0.26	0.31	0.35
8.5			0.23	0.29	0.35	0.40	0.46
9			0.31	0.38	0.45	0.52	0.58

Ie (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			966020	920794	895404	880065	870257
6.5			919436	891458	875752	830205	764296
7			892313	874378	808984	742906	700655
7.5			875894	806037	733738	690058	662129
8			823149	735712	686625	656969	638007
8.5			751139	690364	656246	635633	622453
9			703485	660355	636142	621513	612160

40x80 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6		0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	
6.5		0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	
7		0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	
7.5		0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	
8		0.09	0.10	0.12	0.14	0.17	
8.5		0.11	0.13	0.16	0.20	0.23	
9		0.14	0.18	0.22	0.27	0.31	

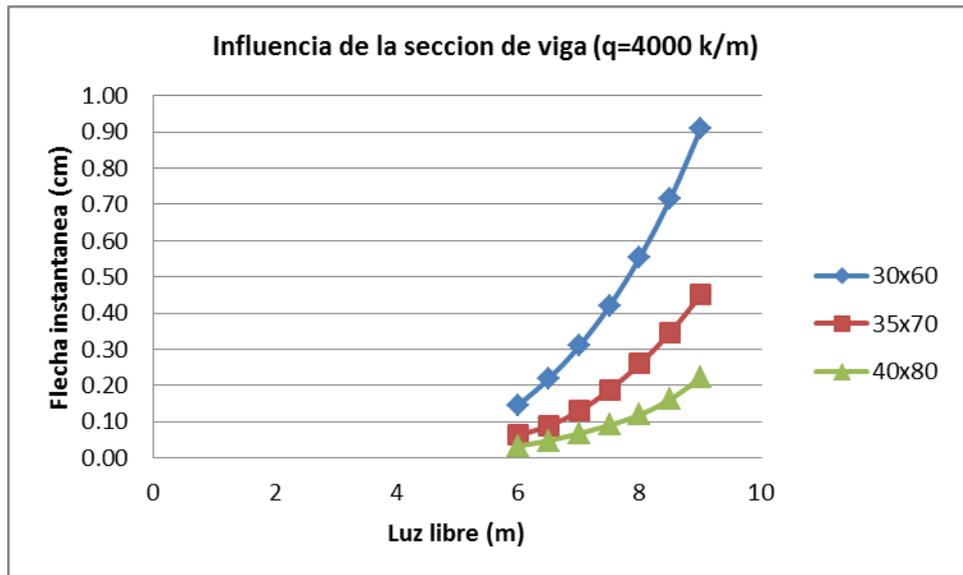
Ie (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6		1706667	1706667	1706667	1647839	1594782	
6.5		1706667	1706667	1624505	1573173	1540350	
7		1706667	1617073	1562605	1529698	1508657	
7.5		1625273	1561137	1525132	1503380	1439247	
8		1569659	1526115	1501670	1410585	1305253	
8.5		1533798	1503532	1406564	1292064	1218851	
9		1510066	1429389	1294888	1213630	1161673	

% Disminucion de Δi en viga 35x70 vs 30x60							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
6.5		2.2	2.3	2.5	2.4	2.3	
7		2.3	2.5	2.4	2.3	2.2	
7.5		2.5	2.4	2.2	2.1	2.1	
8		2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	
8.5		2.3	2.1	2.1	2.0	2.0	
9		2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	

% Disminucion de Δ_i en viga de 40x80 vs viga 30x60						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		3.6	4.0	4.4	4.5	4.6
6.5		4.0	4.5	4.6	4.6	4.6
7		4.5	4.6	4.6	4.6	4.7
7.5		4.6	4.6	4.6	4.7	4.5
8		4.6	4.6	4.7	4.4	4.1
8.5		4.6	4.7	4.4	4.1	3.9
9		4.7	4.5	4.1	3.9	3.7

% Disminucion de Δ_i en viga de 40x80 vs viga 35x70						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		1.8	1.9	1.9	1.9	1.8
6.5		1.9	1.9	1.9	1.9	2.0
7		1.9	1.8	1.9	2.1	2.2
7.5		1.9	1.9	2.1	2.2	2.2
8		1.9	2.1	2.2	2.1	2.0
8.5		2.0	2.2	2.1	2.0	2.0
9		2.1	2.2	2.0	2.0	1.9

Grafico 4.7 – Influencia del tamaño de sección en vigas



En el grafico se observa como la flecha disminuye notablemente a medida que se aumenta el tamaño de viga, la diferencia se acentúa a medida que aumenta la longitud de la viga. Se pueden encontrar reducciones hasta de 5 veces al comparar vigas de 30x60 con vigas de 40x80 para distintas combinaciones a la mostrada.

2.2.4. Influencia del ρ y ρ' en el cálculo de la flecha

En los siguientes ejemplos mostrados se inicia calculando la flecha con una combinación mínima de acero y luego se aumenta gradualmente el acero según el caso estudiado.

- **Variación del ρ en el tramo**

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.11	0.16	0.23	0.31	0.38
6.5			0.19	0.29	0.39	0.50	0.60
7			0.33	0.47	0.61	0.75	0.88
7.5			0.52	0.71	0.89	1.06	1.23
8			0.77	1.00	1.23	1.45	1.66
8.5			1.07	1.37	1.64	1.91	2.17
9			1.44	1.80	2.13	2.45	2.77

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.0033	0.006	0.00033

30x60 Δi (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.11	0.16	0.21	0.27	0.33
6.5		0.19	0.27	0.35	0.42	0.50
7		0.30	0.41	0.52	0.62	0.71
7.5		0.46	0.60	0.73	0.85	0.98
8		0.65	0.82	0.99	1.14	1.30
8.5		0.89	1.10	1.30	1.49	1.68
9		1.17	1.42	1.66	1.90	2.13

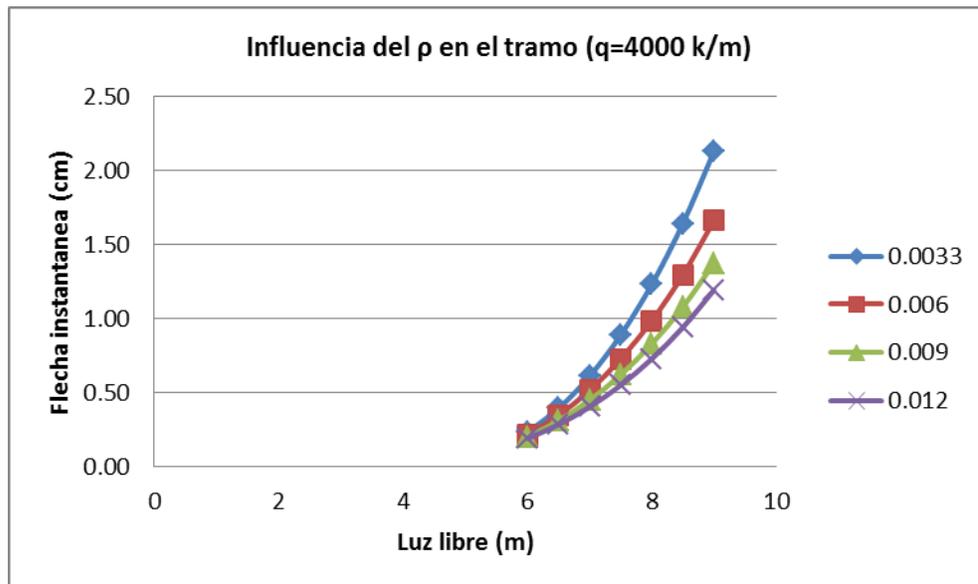
	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.0033	0.009	0.00033

30x60 Δi (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.11	0.15	0.20	0.25	0.29
6.5		0.18	0.25	0.31	0.37	0.43
7		0.28	0.37	0.45	0.53	0.60
7.5		0.41	0.52	0.62	0.72	0.81
8		0.57	0.70	0.83	0.95	1.07
8.5		0.76	0.92	1.08	1.23	1.38
9		0.98	1.18	1.38	1.56	1.75

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.0033	0.012	0.00033

30x60 Δi (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.11	0.15	0.19	0.23	0.26
6.5		0.18	0.23	0.28	0.33	0.38
7		0.27	0.34	0.40	0.47	0.53
7.5		0.38	0.47	0.55	0.63	0.71
8		0.51	0.62	0.73	0.83	0.93
8.5		0.67	0.81	0.94	1.07	1.20
9		0.87	1.03	1.19	1.35	1.51

Grafico 4. 8 – Influencia del acero inferior del tramo en vigas



Se puede observar como al aumentar el acero inferior del tramo los valores de la flecha disminuyen, este comportamiento es más notable en luces superiores a 7,0 m.

- Variación de ρ' en el apoyo

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.006	0.0033	0.006
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.10	0.15	0.20	0.26	0.32
6.5			0.17	0.25	0.33	0.41	0.49
7			0.29	0.39	0.50	0.60	0.70
7.5			0.44	0.58	0.71	0.84	0.96
8			0.63	0.80	0.97	1.13	1.28
8.5			0.86	1.08	1.28	1.48	1.67
9			1.14	1.40	1.65	1.89	2.12

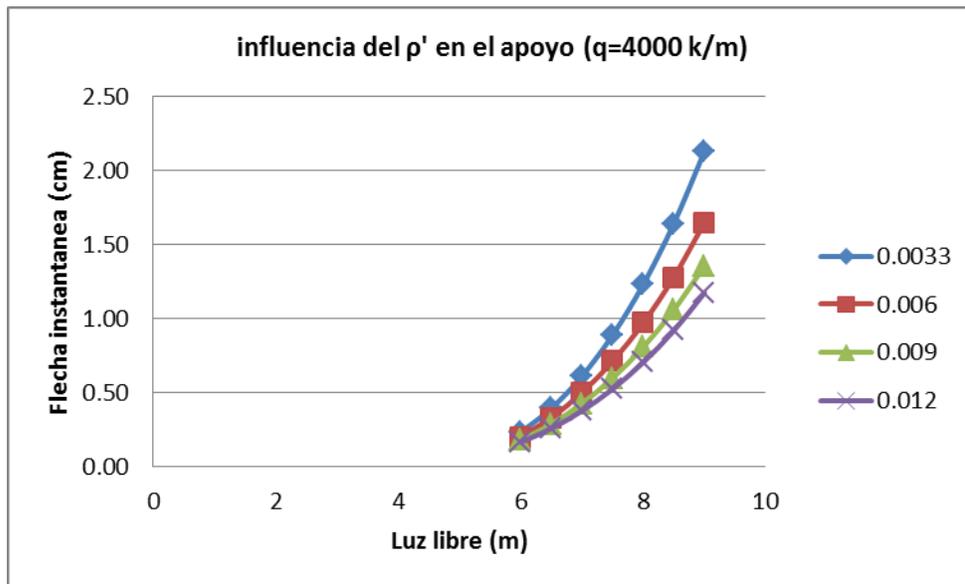
	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.009	0.0033	0.009
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.10	0.13	0.18	0.23	0.27
6.5			0.16	0.22	0.29	0.35	0.41
7			0.26	0.34	0.43	0.51	0.58
7.5			0.38	0.49	0.60	0.70	0.80
8			0.54	0.68	0.81	0.93	1.06
8.5			0.73	0.90	1.06	1.22	1.37
9			0.96	1.16	1.36	1.55	1.74

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.012	0.0033	0.012
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.09	0.12	0.16	0.20	0.24
6.5		0.15	0.20	0.26	0.31	0.36
7		0.23	0.31	0.38	0.44	0.51
7.5		0.34	0.44	0.52	0.61	0.69
8		0.48	0.59	0.70	0.81	0.92
8.5		0.64	0.78	0.92	1.05	1.18
9		0.84	1.01	1.17	1.34	1.50

Grafico 4. 9 – Influencia del acero superior del apoyo en vigas



Se observa que al aumentar el acero superior en el apoyo al igual que en el caso del acero inferior en el tramo, la flecha disminuye. Dicha disminución aumenta a medida que lo hace la longitud de la viga.

- Variación de ρ' en el tramo

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.006	0.0033
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5			0.19	0.29	0.39	0.50	0.60
7			0.33	0.47	0.61	0.75	0.88
7.5			0.52	0.70	0.88	1.06	1.22
8			0.76	1.00	1.22	1.44	1.65
8.5			1.07	1.36	1.63	1.89	2.15
9			1.43	1.78	2.11	2.44	2.75

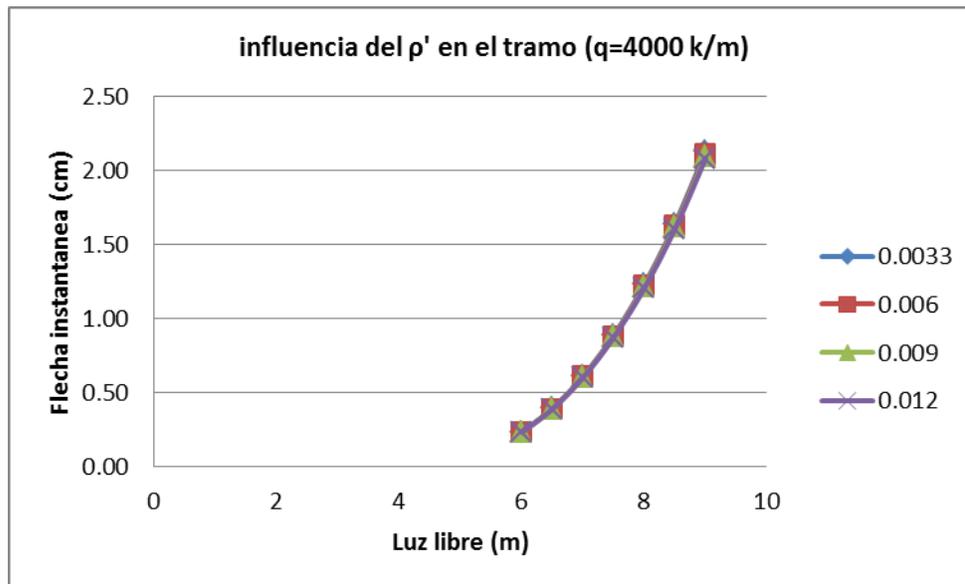
	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.009	0.0033
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5			0.19	0.29	0.39	0.49	0.59
7			0.33	0.47	0.61	0.74	0.87
7.5			0.52	0.70	0.88	1.05	1.22
8			0.76	0.99	1.21	1.43	1.63
8.5			1.06	1.35	1.62	1.88	2.13
9			1.42	1.77	2.10	2.42	2.72

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.012	0.0033
ρ	0.0033	0.0033	0.00033

30x60 Δi (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5		0.19	0.29	0.39	0.49	0.59
7		0.33	0.47	0.60	0.74	0.87
7.5		0.52	0.70	0.87	1.04	1.21
8		0.76	0.99	1.21	1.42	1.62
8.5		1.06	1.34	1.61	1.87	2.12
9		1.42	1.76	2.08	2.40	2.70

Grafico 4. 10 – Influencia del acero superior del tramo en vigas



Se puede observar en el grafico que existe poca o ninguna variación en la flecha para distintos porcentajes de acero.

- Variación de ρ en el apoyo

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.006	0.0033	0.006

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5			0.19	0.29	0.39	0.50	0.60
7			0.33	0.47	0.61	0.74	0.88
7.5			0.52	0.70	0.88	1.06	1.22
8			0.76	1.00	1.22	1.44	1.64
8.5			1.07	1.36	1.63	1.89	2.15
9			1.43	1.78	2.11	2.43	2.75

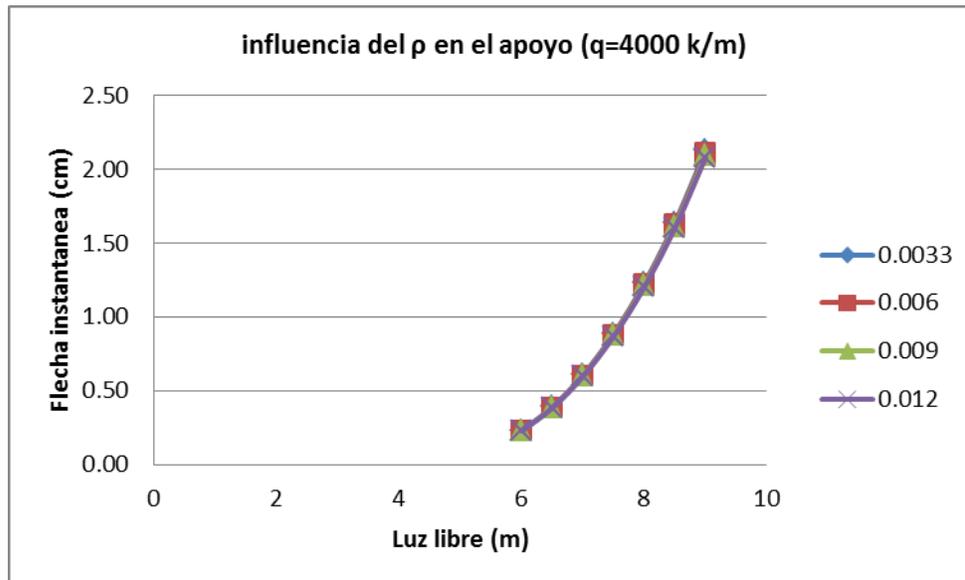
	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.009	0.0033	0.009

30x60 Δi (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5			0.19	0.29	0.39	0.49	0.59
7			0.33	0.47	0.60	0.74	0.87
7.5			0.52	0.70	0.88	1.05	1.21
8			0.76	0.99	1.21	1.43	1.63
8.5			1.06	1.35	1.62	1.88	2.13
9			1.42	1.77	2.10	2.41	2.72

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.0033	0.0033	0.0033
ρ	0.0012	0.0033	0.012

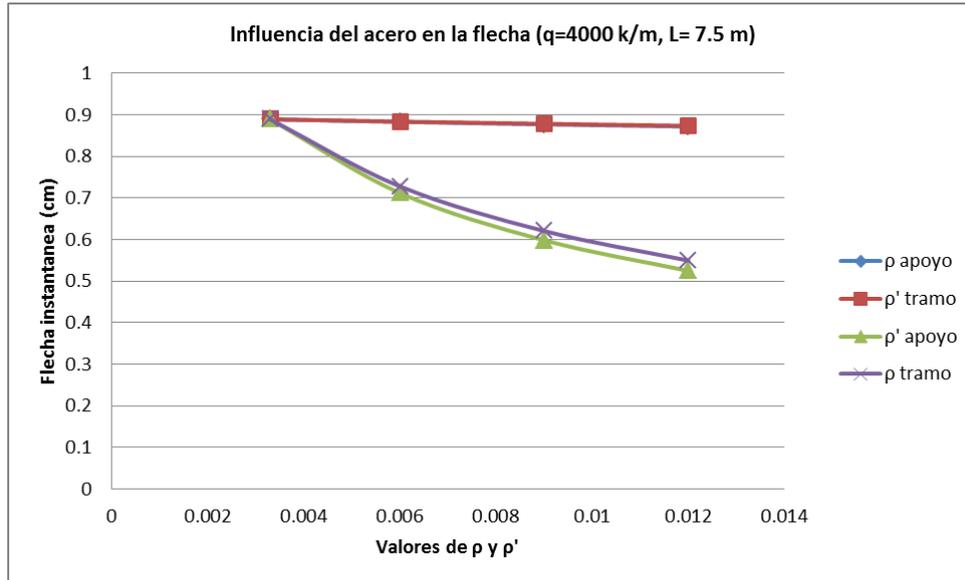
30x60 Δ_i (cm)						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.11	0.16	0.23	0.30	0.38
6.5		0.19	0.29	0.39	0.49	0.59
7		0.33	0.46	0.60	0.74	0.87
7.5		0.51	0.70	0.87	1.04	1.21
8		0.76	0.98	1.21	1.42	1.62
8.5		1.05	1.34	1.61	1.87	2.12
9		1.41	1.76	2.08	2.40	2.70

Grafico 4. 11 – Influencia del acero inferior del apoyo en vigas



De igual forma que en caso anterior la influencia del acero a compresión en el apoyo es poca o nula.

Grafico 4. 12– Influencia de los acero en vigas vigas



En este grafico se observa conjuntamente la influencia que tiene cada acero en una viga de 30x60 para la carga y luz mostrada, este patrón se repite para otras condiciones de sollicitación, así como también para otros tamaños de viga. De forma general se puede decir que el ρ' en el apoyo y el ρ en el tramo central son los que más influyen en la variación de la flecha.

2.2.5. Influencia de considerar la viga con sección T en el cálculo de la flecha

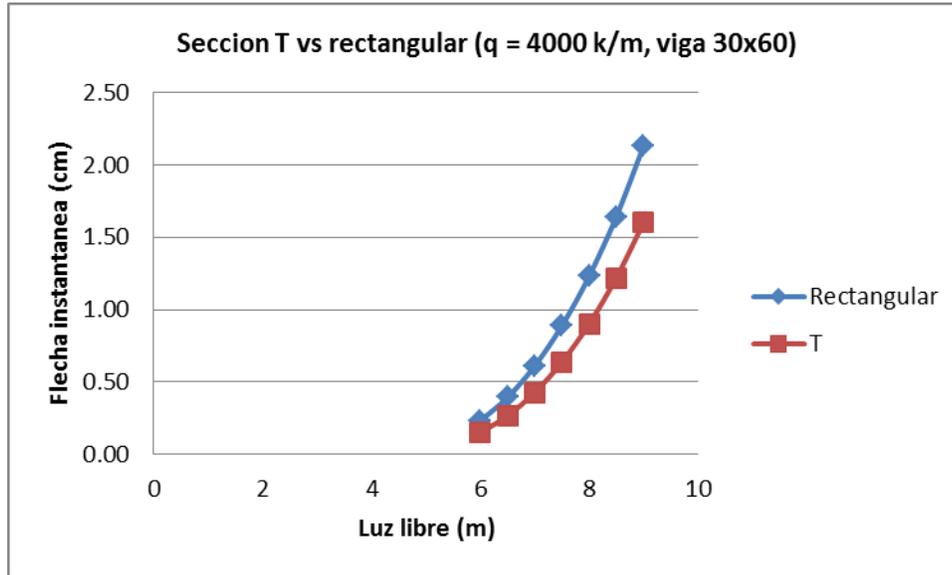
Para el cálculo de los siguientes valores se utiliza una viga de 30x60 donde se considera el espesor superior de h_f igual a 25 cm y su anchob igual a 50cm que corresponde a un macizado de 10 cm por cada lado.

	Apoyo	Tramo	Apoyo
ρ'	0.012	0.004	0.012
ρ	0.008	0.008	0.008

Δi (cm), viga rectangular 30x60						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.09	0.12	0.15	0.18	0.20
6.5		0.14	0.18	0.22	0.26	0.29
7		0.21	0.26	0.31	0.36	0.40
7.5		0.29	0.36	0.42	0.48	0.54
8		0.39	0.48	0.55	0.63	0.71
8.5		0.52	0.62	0.72	0.81	0.91
9		0.66	0.79	0.91	1.03	1.15

Δi (cm), viga T 30x60						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.07	0.08	0.11	0.13	0.15
6.5		0.10	0.13	0.16	0.19	0.22
7		0.15	0.19	0.24	0.27	0.31
7.5		0.22	0.27	0.32	0.37	0.42
8		0.30	0.37	0.43	0.49	0.55
8.5		0.40	0.48	0.56	0.63	0.71
9		0.51	0.61	0.71	0.80	0.90

% Disminucion de Δi en seccion T vs rectangular						
	q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		1.3	1.4	1.4	1.3	1.3
6.5		1.4	1.4	1.3	1.3	1.3
7		1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
7.5		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
8		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
8.5		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
9		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Grafico 4. 13 – Influencia de la seccion T en vigas

En el grafico se aprecia cómo se reduce el valor de la flecha al considerar la sección T. Tiende a presentar una variación constante de 1,3 veces para este ejemplo, la cual guarda relación con el incremento de área aportada.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones alcanzadas, una vez revisado el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de este Trabajo Especial de Grado. Para finalizar se presentan recomendaciones que complementan las conclusiones.

Tomando en cuenta los objetivos planteados al comienzo de este trabajo se puede concluir:

- Se investigó, analizo y sintetizo estudios previos y normas existentes en publicaciones especializadas referentes a fisuración y flecha en elementos de concreto armado, con el objetivo de conocer los parámetros y normas que rigen el comportamiento general de los mismos, estableciendo las bases para la realización del trabajo.
- Una vez realizado el estudio teórico y pautado los requerimientos en el análisis de la fisuración y la flecha, se aplicó lo estudiado en el planteamiento del problema.
- Se logró conocer y determinar cómo influyen distintos parámetros comportamiento de la fisuración y la flecha.
- Se proporcionan conocimientos y herramientas útiles en el diseño y aplicables en campo, así como también recomendaciones para disminuir o evitar los problemas de fisuración y flecha.

Además de lo expresado anteriormente en función de los objetivos, se pueden destacar algunas de las conclusiones alcanzadas durante el desarrollo del trabajo.

1.1. Fisuración

- Las variables que tienen mayor influencia en la fisuración de elementos sometidos a flexión son el esfuerzo presente en el acero ante cargas de servicios f_s , el recubrimiento libre de concreto c_c , la calidad del concreto y la separación entre las barras s .
- La anchura de fisura w tiende a aumentar a medida que lo hace el esfuerzo en el acero f_s y el recubrimiento libre c_c .
- La anchura de fisura tiende a disminuir a medida que disminuye la separación entre las barras.
- No se puede predecir con exactitud la anchura de fisura en elementos sometidos a flexión.

- Distintas causas de fisuración presentan patrones típicos en el aspecto y geometría de las mismas. Conocer las características permite determinar con cierta exactitud la causa de una fisura en particular.
- La ecuación 2-2 utilizada para predecir el ancho de fisura, tiene mayor validez para recubrimientos menores a 6,3 cm.

1.2. Flecha

- Los requisitos mínimos de diseño por flexión aplicados en este trabajo ecuación 2-14, no garantizan limitar la flecha máxima permisible en la tabla 2.9, sobre todo en el caso de las losas de 20 y 25 cm.
- En losas de 20 cm de espesor se empiezan a observar problemas de flecha para luces iguales o mayores a 5,0 metros.
- En losas de 25 cm de espesor se empiezan a observar problemas de flecha para luces iguales o mayores a 6,0 metros
- En losas de 30 cm de espesor se empiezan a observar problemas de flecha para luces iguales o mayores a 7,0 metros
- La flecha diferida en losas puede alcanzar hasta 2 y 3 veces en valor de la flecha inicial.
- Los requisitos de espesores mínimos para losas armadas en una dirección estipulados en la tabla 2.8 se adaptan conveniente a los resultados obtenidos en losas diseñadas con requisitos mínimos por flexión. Esto no sucede en el estudio de las vigas, ya que en la mayoría de los casos los valores de la tabla 2.8 sobre estiman el espesor necesario para el control de la flecha.
- Es importante considerar la sección T existente en vigas y losas, ya que disminuye los valores obtenidos al calcular la flecha.
- El acero inferior en el tramo central ρ y el superior en el apoyo ρ' influyen significativamente y de forma similar en el cálculo de la flecha. En vigas dicha influencia se hace más notable para luces mayores a 7,0 m y en el caso de las losas para luces mayores a 5,5 m.
- La variación del acero superior en el tramo central ρ' y el inferior en el apoyo ρ existente en las vigas, no afectan de forma importante el cálculo de la flecha instantánea.
- El acero superior en el tramo ρ' en vigas influye significativamente en la flecha a largo plazo, este puede variar el incremento de la flecha instantánea en un rango de 1,25 hasta 1,7 veces para periodos iguales o mayores a 2 años.
- El aumento del tamaño de la viga disminuye notablemente en valor de la flecha, se encuentran disminuciones de 2 veces en promedio al comparar vigas de 30x60 con vigas de 35x70 y de 4 veces al compararlas con vigas de 40x80.

2. Recomendaciones

2.1. Fisuración

La mayoría de las recomendaciones referente a fisuración se encuentran expresadas en el desarrollo del Capítulo II, cabe destacar lo siguiente:

- En la distribución del acero se recomienda utilizar mayor cantidad de barras de menor diámetro para cubrir un área equivalente, en lugar de menor número de barras de mayor diámetro.
- La máxima separación entre centros de barras no debe exceder los 25 cm.
- Usar mezclas de concreto con el menor contenido de agua y mayor tamaño máximo de agregado posible.
- Se debe controlar rigurosamente el alineamiento de las barras con relación al encofrado, con el fin de mantener constante el recubrimiento libre de concreto.
- Luego de realizado el vaciado se debe mantener la superficie del concreto húmeda durante el mayor tiempo posible.
- Se debe seleccionar agregados adecuados para evitar contaminación de la mezcla y reacciones químicas perjudiciales.
- Hacer uso de cementos compensadores de retracción en elementos con gran superficie expuesta y juntas bien diseñadas en elementos de gran longitud.
- Vibrar y revirar la mezcla puede disminuir la ocurrencia de fisuras por asentamiento plástico (evitar segregación por vibrado excesivo).
- Utilizar encofrados en buen estado, con superficies planas y firmes.
- Evitar vaciar cuando la temperatura de la armadura y los encofrados es alta.

2.2. Flecha

- Considerar la sección T en el cálculo de la flecha.
- Realizar un estudio detallado de la flecha en losas para luces de 5,0 m en adelante.
- Realizar un estudio detallado en vigas para luces de 8,0 m en adelante, sobre todo en vigas de alturas menores a 60 cm.
- Considerar la flecha a largo plazo para el diseño.
- Realizar estudios que permitan clasificar mejor el uso de la tabla 2.8 en el diseño de vigas y losas. Por ejemplo, determinar un rango de cargas y luces donde sea válida la aplicación de la tabla para vigas y losas por igual, ya que se ha observado un comportamiento distinto en la determinación de la flecha para ambos tipos de elementos.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute (ACI)

- 1.1. ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- 1.2. ACI 224.1R-93 Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures
- 1.3. ACI 224R-01 Control of Cracking in Concrete Structures

2. Norma Venezolana

- 2.1. COVENIN 1753-2006 Proyecto y construcción de obras en concreto estructural
- 2.2. COVENIN 2002-88 Criterios y acciones mínimas para en proyecto de edificaciones

3. Portland Cement Association (PCA)

- 3.1. PCA Notes on ACI-318

4. Libros de Texto Especializados

- 4.1. Arthur H. Nilson(2001) "Designof Concrete Structures"
- 4.2. M. FernándezCánovas (1994) "Patología y Terapéutica del Hormigón Armado"

ANEXOS

1. Combinaciones de aceros mínimos utilizados.

- Losas de 20 cm de espesor

As (cm ²)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			0.71	0.71	0.71	0.71	1.27
4.5			0.71	1.27	1.27	1.27	1.27
5			1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
5.5			1.27	1.27	1.27	1.42	1.98
6			1.27	1.42	1.98	1.98	1.98
6.5			1.98	1.98	1.98	2.53	2.53
7			1.98	1.98	2.53	2.53	3.25
7.5			1.98	2.53	2.69	3.25	3.25
8			2.53	2.69	3.25	3.81	4.51

As' (cm ²)							
		q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)							
4			1.27	1.27	1.27	1.42	1.98
4.5			1.27	1.42	1.98	1.98	1.98
5			1.98	1.98	2.53	2.53	2.53
5.5			1.98	2.53	2.53	3.25	3.25
6			2.53	3.25	3.25	3.81	4.51
6.5			3.25	3.81	4.51	4.51	
7			3.81	4.51			
7.5			4.51				
8							

- Losas de 25 cm de espesor

As (cm ²)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
4.5		0.71	0.71	0.71	0.71	1.27
5		0.71	0.71	1.27	1.27	1.27
5.5		1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
6		1.27	1.27	1.27	1.27	1.42
6.5		1.27	1.27	1.42	1.98	1.98
7		1.27	1.42	1.98	1.98	1.98
7.5		1.98	1.98	1.98	2.53	2.53
8		1.98	1.98	2.53	2.53	2.69

As' (cm ²)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
4.5		1.27	1.27	1.27	1.42	1.42
5		1.27	1.42	1.98	1.98	1.98
5.5		1.42	1.98	1.98	2.53	2.53
6		1.98	1.98	2.53	2.53	2.69
6.5		2.53	2.53	2.69	3.25	3.25
7		2.53	3.25	3.25	3.81	4.51
7.5		3.25	3.25	3.81	4.51	
8		3.81	3.81	4.51		

- Losas de 30 cm de espesor

As (cm ²)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
4.5		0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
5		0.71	0.71	0.71	0.71	1.27
5.5		0.71	0.71	1.27	1.27	1.27
6		1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
6.5		1.27	1.27	1.27	1.27	1.42
7		1.27	1.27	1.27	1.42	1.98
7.5		1.27	1.42	1.98	1.98	1.98
8		1.42	1.98	1.98	1.98	2.53

As' (cm ²)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.71	0.71	1.27	1.27	1.27
4.5		1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
5		1.27	1.27	1.27	1.42	1.42
5.5		1.27	1.42	1.42	1.98	1.98
6		1.42	1.98	1.98	1.98	2.53
6.5		1.98	1.98	2.53	2.53	2.53
7		1.98	2.53	2.53	2.69	3.24
7.5		2.53	2.53	3.24	3.24	3.81
8		2.53	3.24	3.24	3.81	4.51

- Viga de 30x60 (bxh; cm)

ρ^-						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
6.5		0.003	0.004	0.005	0.005	0.006
7		0.004	0.005	0.005	0.006	0.007
7.5		0.004	0.005	0.006	0.007	0.008
8		0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
8.5		0.006	0.007	0.008	0.009	0.01
9		0.007	0.008	0.009	0.010	0.012

ρ^+						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
6.5		0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
7		0.002	0.003	0.003	0.003	0.004
7.5		0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
8		0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
8.5		0.003	0.004	0.004	0.005	0.005
9		0.004	0.004	0.005	0.005	0.006

- Viga de 35x70

ρ^-						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
6.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.004
7		0.0033	0.0033	0.0033	0.004	0.004
7.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.004	0.004
8		0.0033	0.003	0.004	0.004	0.005
8.5		0.004	0.004	0.004	0.005	0.006
9		0.004	0.005	0.005	0.006	0.007

ρ^+						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
6.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
7		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
7.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
8		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
8.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
9		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.004

- Viga de 40x80

ρ^-						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.0033	0.003	0.003	0.003	0.0033
6.5		0.0033	0.003	0.003	0.003	0.0033
7		0.0033	0.003	0.003	0.003	0.0033
7.5		0.0033	0.003	0.003	0.003	0.0033
8		0.0033	0.003	0.003	0.003	0.004
8.5		0.0033	0.003	0.003	0.004	0.004
9		0.0033	0.003	0.004	0.004	0.004

ρ^+						
	q (Kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)						
6		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
6.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
7		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
7.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
8		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
8.5		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
9		0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033

2. Momentos de Inercia critica

- Losa de 20 cm de espesor

Icr (cm ⁴),				
Nº Barra	As (cm ²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	4.07	1293
1 φ #4	1.27	0.87	5.19	2060
2 φ #3	1.42	0.78	5.44	2244
1 φ #5	1.98	0.56	6.20	2873
2 φ #4	2.53	0.44	6.81	3417
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	6.97	3564
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	7.47	4046
3 φ #4	3.81	0.29	7.90	4483
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	8.37	4978

- Losa de 25 cm de espesor

Icr (cm ⁴),				
Nº Barra	As (cm ²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	4.70	2259
1 φ #4	1.27	0.87	6.04	3646
2 φ #3	1.42	0.78	6.33	3984
1 φ #5	1.98	0.56	7.25	5147
2 φ #4	2.53	0.44	7.99	6170
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	8.18	6448
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	8.79	7368
3 φ #4	3.81	0.29	9.32	8212
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	9.91	9177

- Losa de 30 cm de espesor

Icr (cm ⁴),				
Nº Barra	As (cm ²)	B	kd	Icr
1 φ #3	0.71	1.56	5.27	3505
1 φ #4	1.27	0.87	6.80	5712
2 φ #3	1.42	0.78	7.13	6254
1 φ #5	1.98	0.56	8.19	8136
2 φ #4	2.53	0.44	9.04	9807
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	9.27	10266
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	9.98	11787
3 φ #4	3.81	0.29	10.60	13193
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	11.29	14815

- Viga de 30x60

Icr (cm ⁴)													
ρ	As (cm ²)	Icr (cm ⁴)											
		0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012		
0.0033	5.94	123821	124425	125256	126053	126819	127556	128268	128955	129619	130263		
0.0040	7.20	145643	146414	147475	148491	149467	150405	151308	152178	153018	153829		
0.0050	9.00	175138	176152	177549	178888	180175	181411	182601	183747	184852	185918		
0.0060	10.80	202936	204194	205929	207596	209199	210741	212226	213658	215038	216372		
0.0070	12.60	229269	230769	232841	234836	236757	238607	240392	242114	243776	245383		
0.0080	14.40	254314	256053	258460	260780	263017	265177	267261	269275	271222	273105		
0.0090	16.20	278211	280186	282923	285565	288117	290583	292967	295273	297505	299666		
0.0100	18.00	301076	303282	306344	309305	312167	314937	317619	320215	322730	325168		
0.0110	19.80	323003	325437	328819	332092	335262	338332	341307	344192	346989	349703		
0.0120	21.60	344074	346731	350426	354007	357479	360846	364112	367282	370358	373346		

- Viga de 35x70

Icr (cm⁴)													
p	As (cm²)	Icr (cm⁴)											
		0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012		
		p'	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	
		As' (cm²)	8.085	9.800	12.250	14.700	17.150	19.600	22.050	24.500	26.950	29.400	
0.0033	8.09		235207	236474	238208	239859	241434	242939	244379	245759	247083	248356	
0.0040	9.80		276672	278278	280478	282577	284580	286495	288329	290085	291771	293390	
0.0050	12.25		332721	334814	337689	340438	343068	345587	348002	350320	352546	354685	
0.0060	14.70		385551	388128	391678	395080	398343	401475	404484	407376	410157	412835	
0.0070	17.15		435601	438658	442876	446929	450824	454570	458175	461647	464992	468217	
0.0080	19.60		483210	486738	491616	496312	500834	505192	509393	513445	517355	521131	
0.0090	22.05		528643	532635	538162	543492	548634	553597	558390	563020	567494	571821	
0.0100	24.50		572120	576565	582729	588683	594437	599998	605377	610579	615614	620489	
0.0110	26.95		613819	618709	625498	632066	638421	644573	650529	656299	661889	667308	
0.0120	29.40		653894	659219	666622	673792	680739	687472	693998	700328	706467	712424	

- Viga de 40x80

Icr (cm ⁴)													
p	As (cm ²)	p'											
		0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012		
As' (cm ²)		10.560	12.800	16.000	19.200	22.400	25.600	28.800	32.000	35.200	38.400		
0.0033	10.56	408833	411201	414432	417496	420406	423174	425810	428324	430726	433023		
0.0040	12.80	480913	483896	487976	491855	495547	499066	502422	505629	508694	511628		
0.0050	16.00	578348	582210	587509	592564	597392	602007	606421	610648	614697	618581		
0.0060	19.20	670193	674925	681435	687667	693635	699355	704841	710106	715162	720020		
0.0070	22.40	757215	762803	770510	777906	785008	791832	798390	804699	810769	816614		
0.0080	25.60	839998	846428	855312	863857	872081	879998	887624	894973	902058	908893		
0.0090	28.80	919008	926261	936301	945977	955306	964305	972988	981370	989465	997285		
0.0100	32.00	994621	1002681	1013854	1024640	1035058	1045123	1054850	1064254	1073350	1082149		
0.0110	35.20	1067451	1076000	1088283	1100159	1111646	1122761	1133517	1143931	1154017	1163787		
0.0120	38.40	1136863	1146484	1159853	1172799	1185336	1197483	1209253	1220663	1231725	1242454		

3. Ejemplos de cálculo de flecha

- Cálculo de flecha en losa rectangular de 30 cm de espesor

DATOS

$f_y =$	4200	kgf/cm ²
$f'_c =$	250	kgf/cm ²
$E_c =$	238752	modulo de elasticidad del concreto
$E_s =$	2100000	modulo de elasticidad del acero
$n =$	9	relacion entre modulos de elasticidad
$b =$	10	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	3	cm
$d =$	27	cm
$f_r =$	31.6	kgf/cm ²
$I_g =$	22500	cm ⁴
$M_{cr} =$	474	kgf*m

VALORES DE LA INERCIA CRITICA "I_{cr}"

I _{cr} (cm ⁴),				
Nº Barra	As (cm ²)	B	kd	I _{cr}
1 φ #3	0.71	1.56	5.27	3505
1 φ #4	1.27	0.87	6.80	5712
2 φ #3	1.42	0.78	7.13	6254
1 φ #5	1.98	0.56	8.19	8136
2 φ #4	2.53	0.44	9.04	9807
1φ#3 + 1φ#5	2.69	0.41	9.27	10266
1φ#4 + 1φ#5	3.25	0.34	9.98	11787
3 φ #4	3.81	0.29	10.60	13193
1φ#5 + 2φ#4	4.51	0.25	11.29	14815

VALORES DE LA INERCIA EFECTIVA "Ie" EN EL TRAMO

$$As \text{ (cm}^2\text{)} = 1.4200 \rightarrow I_{cr} = 6254 \text{ cm}^4$$

Ie (cm ⁴)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		22500	22500	22500	22500	21932
4.5		22500	22500	19618	16294	13988
5		20125	15996	13356	11590	10364
5.5		14084	11753	10263	9266	8574
6		10899	9517	8632	8041	7630
6.5		9128	8272	7725	7359	7105
7		8096	7548	7197	6963	6800
7.5		7472	7109	6877	6722	6615
8		7081	6835	6677	6572	6499

VALORES DE LA INERCIA EFECTIVA "Ie" EN EL APOYO

$$As' \text{ (cm}^2\text{)} = 2.5300 \rightarrow I_{cr} = 9807 \text{ cm}^4$$

Ie (cm ⁴)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		16685	14638	13329	12453	11845
4.5		13200	12190	11544	11112	10813
5		11610	11074	10730	10501	10342
5.5		10825	10522	10328	10199	10109
6		10411	10231	10116	10040	9986
6.5		10181	10070	9999	9951	9918
7		10047	9975	9930	9899	9878
7.5		9966	9918	9888	9868	9854
8		9915	9883	9862	9849	9839

VALORES DE LA INERCIA EFECTIVA "Ie" PROMEDIO

Ie (cm ⁴)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		19593	18569	17914	17477	16889
4.5		17850	17345	15581	13703	12400
5		15868	13535	12043	11045	10353
5.5		12454	11138	10296	9732	9341
6		10655	9874	9374	9040	8808
6.5		9654	9171	8862	8655	8512
7		9071	8762	8564	8431	8339
7.5		8719	8514	8383	8295	8234
8		8498	8359	8270	8210	8169

VALORES DE FLECHA INSTANTANEA

Δ_i (cm)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4.5		0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
5		0.2	0.3	0.3	0.4	0.5
5.5		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
6		0.6	0.8	0.9	1.0	1.2
6.5		1.0	1.1	1.3	1.5	1.6
7		1.4	1.6	1.8	2.1	2.3
7.5		1.9	2.2	2.5	2.7	3.0
8		2.5	2.9	3.2	3.6	3.9

VALORES DE FLECHA DIFERIDA

Δ_d (cm)						
	q (kgf/m)	400	450	500	550	600
L (m)						
4		0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
4.5		0.2	0.3	0.3	0.4	0.5
5		0.4	0.5	0.7	0.8	0.9
5.5		0.8	1.0	1.2	1.4	1.5
6		1.3	1.5	1.8	2.1	2.3
6.5		1.9	2.3	2.6	3.0	3.3
7		2.8	3.2	3.7	4.1	4.5
7.5		3.8	4.4	4.9	5.5	6.0
8		5.0	5.8	6.5	7.2	7.9

- Cálculo de la flecha en viga rectangular de 30x60

DATOS

$f_y = 4200$ kgf/cm²
 $f'_c = 250$ kgf/cm²
 $E_c = 238752$ modulo de elasticidad del concreto
 $E_s = 2100000$ modulo de elasticidad del acero
 $n = 9$ relacion entre modulos de elasticidad
 $h = 60$ cm
 $b = 30$ cm
 $d' = 4$ cm
 $d = 56.00$ cm
 $f_r = 31.6$ kgf/cm²
 $I_g = 540000$ cm⁴
 $M_{cr} = 5692$ kgf*m

VALORES DE "r"

r													
			ρ'	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
			As' (cm ²)	5.940	7.200	9.000	10.800	12.600	14.400	16.200	18.000	19.800	21.600
ρ	As (cm ²)	B											
0.0033	5.94	0.56	0.89	1.08	1.35	1.62	1.89	2.15	2.42	2.69	2.96	3.23	
0.0040	7.20	0.46	0.73	0.89	1.11	1.33	1.56	1.78	2.00	2.22	2.44	2.67	
0.0050	9.00	0.37	0.59	0.71	0.89	1.07	1.24	1.42	1.60	1.78	1.96	2.13	
0.0060	10.80	0.31	0.49	0.59	0.74	0.89	1.04	1.19	1.33	1.48	1.63	1.78	
0.0070	12.60	0.26	0.42	0.51	0.63	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.40	1.52	
0.0080	14.40	0.23	0.37	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00	1.11	1.22	1.33	
0.0090	16.20	0.21	0.33	0.40	0.49	0.59	0.69	0.79	0.89	0.99	1.09	1.19	
0.0100	18.00	0.19	0.29	0.36	0.44	0.53	0.62	0.71	0.80	0.89	0.98	1.07	
0.0110	19.80	0.17	0.27	0.32	0.40	0.48	0.57	0.65	0.73	0.81	0.89	0.97	
0.0120	21.60	0.15	0.24	0.30	0.37	0.44	0.52	0.59	0.67	0.74	0.81	0.89	

VALORES DE "kd"

kd (cm)													
			ρ'	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
			As' (cm ²)	5.940	7.200	9.000	10.800	12.600	14.400	16.200	18.000	19.800	21.600
ρ	As (cm ²)	B											
0.0033	5.94	0.56	11.17	10.91	10.56	10.23	9.91	9.60	9.31	9.02	8.76	8.50	
0.0040	7.20	0.46	12.26	12.01	11.66	11.33	11.00	10.69	10.39	10.10	9.83	9.56	
0.0050	9.00	0.37	13.64	13.39	13.04	12.70	12.38	12.06	11.76	11.47	11.18	10.91	
0.0060	10.80	0.31	14.84	14.59	14.25	13.91	13.58	13.27	12.96	12.67	12.38	12.10	
0.0070	12.60	0.26	15.92	15.67	15.32	14.99	14.67	14.35	14.04	13.75	13.46	13.18	
0.0080	14.40	0.23	16.89	16.64	16.30	15.97	15.65	15.33	15.03	14.73	14.44	14.16	
0.0090	16.20	0.21	17.78	17.54	17.20	16.87	16.55	16.24	15.93	15.63	15.34	15.06	
0.0100	18.00	0.19	18.60	18.36	18.03	17.70	17.38	17.07	16.77	16.47	16.18	15.90	
0.0110	19.80	0.17	19.37	19.13	18.80	18.47	18.16	17.85	17.54	17.25	16.96	16.68	
0.0120	21.60	0.15	20.08	19.85	19.52	19.20	18.88	18.57	18.27	17.98	17.69	17.41	

VALORES DE INERCIA DE CRITICA "Icr"

Icr (cm ⁴)												
		ρ'	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
		As' (cm ²)	5.940	7.200	9.000	10.800	12.600	14.400	16.200	18.000	19.800	21.600
ρ	As (cm ²)											
0.0033	5.94	123821	124425	125256	126053	126819	127556	128268	128955	129619	130263	
0.0040	7.20	145643	146414	147475	148491	149467	150405	151308	152178	153018	153829	
0.0050	9.00	175138	176152	177549	178888	180175	181411	182601	183747	184852	185918	
0.0060	10.80	202936	204194	205929	207596	209199	210741	212226	213658	215038	216372	
0.0070	12.60	229269	230769	232841	234836	236757	238607	240392	242114	243776	245383	
0.0080	14.40	254314	256053	258460	260780	263017	265177	267261	269275	271222	273105	
0.0090	16.20	278211	280186	282923	285565	288117	290583	292967	295273	297505	299666	
0.0100	18.00	301076	303282	306344	309305	312167	314937	317619	320215	322730	325168	
0.0110	19.80	323003	325437	328819	332092	335262	338332	341307	344192	346989	349703	
0.0120	21.60	344074	346731	350426	354007	357479	360846	364112	367282	370358	373346	

VALORES DE INERCIA EFECTIVA "I_e" EN EL TRAMO

$\rho' =$	0.0040	→	$I_{cr} =$	256053	cm ⁴
$\rho =$	0.0080				

I _e (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			540000	465480	396353	354590	327886
6.5			461784	385610	342846	317010	300491
7			387937	339105	311691	295130	284540
7.5			343232	310953	292832	281884	274883
8			315242	293326	281023	273590	268838
8.5			297193	281960	273409	268242	264939
9			285249	274439	268370	264703	262359

VALORES DE INERCIA EFECTIVA "I_e" EN EL APOYO

$\rho' =$	0.0120	→	$I_{cr} =$	360846	cm ⁴
$\rho =$	0.0080				

I _e (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			395756	382830	375574	371190	368387
6.5			382442	374446	369957	367245	365511
7			374690	369564	366687	364948	363836
7.5			369997	366609	364707	363558	362823
8			367059	364759	363467	362687	362188
8.5			365165	363566	362668	362126	361779
9			363911	362776	362139	361754	361508

VALORES DE INERCIA EFECTIVA "Ie" PROMEDIO

Ie (cm ⁴)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			467878	424155	385963	362890	348136
6.5			422113	380028	356401	342128	333001
7			381314	354335	339189	330039	324188
7.5			356615	338781	328769	322721	318853
8			341151	329042	322245	318139	315513
8.5			331179	322763	318038	315184	313359
9			324580	318607	315254	313229	311934

VALORES DE FLECHA INSTANTANEA

Δ_i (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
6.5			0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
7			0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
7.5			0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
8			0.4	0.5	0.6	0.6	0.7
8.5			0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
9			0.7	0.8	0.9	1.0	1.1

VALORES DE FLECHA DIFERIDA (cm)

Δ_d (cm)							
		q (kgf/m)	3000	3500	4000	4500	5000
L (m)							
6			0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
6.5			0.2	0.3	0.4	0.4	0.5
7			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
7.5			0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
8			0.7	0.8	0.9	1.1	1.2
8.5			0.9	1.0	1.2	1.4	1.5
9			1.1	1.3	1.5	1.7	1.9

4. **Máxima separación permitida entre centros de barras para el control de fisuras en elementos flexionados, según Norma COVENIN 1753-06**

