

CAPITULO No. 1

1.1. INTRODUCCIÓN.

Históricamente, las losas planas en dos direcciones fueron presentadas por O.W. Norcross en los Estados Unidos de Norteamérica en 1902. Diversos sistemas de colocación del refuerzo fueron presentados y desarrollados para sistemas de DOS, TRES Y CUATRO DIRECCIONES, así como también para sistemas de losas circulares.

Turner fue uno de los investigadores que más se dedicaron al estudio y desarrollo de losas , en 1908 reorganizó las losas planas, las que entonces fueron aceptadas como un sistema de piso. Finalmente en 1971, el diseño de losas en dos direcciones fue desarrollado con vigas, las cuales, históricamente, se habían tratado por separado; varios procedimientos y sistemas empíricos fueron presentados y usados como verdaderos.

El método de Marco Equivalente aparece en el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) en 1971, el cual esta basado en el reporte que presentó Peabody en el año de 1948.

El autor Edward G. Nawy, en su libro de Concreto reforzado menciona:

Los sistemas de losas de entrepiso normalmente se construyen de concreto colado en el lugar, las losas y placas en dos direcciones, son aquellos tableros en los cuales la relación longitud / ancho es menor que 2.

El nivel actual de conocimientos (1995) permite evaluar razonablemente :

- 1.- La capacidad a flexión de la losa.
- 2.- La capacidad al corte del sistema losa columna.
- 3.- El comportamiento en condiciones de servicio, determinado por el control de deflexiones y los agrietamientos.

Haciendo un resumen de los últimos 40 años de evolución de los conocimientos de losas en dos direcciones mencionaremos:

A principios de 1950, el análisis del comportamiento a flexión de las losas se basó en los principios de la teoría clásica de elasticidad. La base de las recomendaciones del reglamento del American Concrete Institute fue la teoría de las deflecciones pequeñas en placas, suponiendo al concreto un material homogéneo e isotrópico, esto se presentó a través de tablas de coeficientes para los momentos.

Puesto que las soluciones elásticas son complicadas, aún para formas y condiciones de frontera simples se hizo obligatorio suponer condiciones idealizadas y puramente empíricas, las cuales generalmente se apartaban del marco económico y real.

En 1943, JOHANSEN presentó la teoría de líneas de influencia para evaluar la capacidad de las losas al colapso . Desde entonces se emprendieron investigaciones intensas sobre el comportamiento último de las losas de concreto reforzado. Algunos de los autores que más investigaron sobre esto son : OCKLESTON, MANSFIELD, POWELL, WOOD, GAMBLE-SOZEN-SIESS Y PARK.

Los tres últimos autores mencionados anteriormente son colaboradores del Instituto Americano de Concreto (ACI) por lo cual , algunos de sus trabajos están presentados en la revista sobre estructuras que publica el instituto y serán utilizados en el presente trabajo como referencias.

1.2. OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO:

Un marco de concreto reforzado, incluyendo el sistema de losas en dos direcciones, forma un marco de trabajo de columnas y elementos horizontales, cuyas propiedades dependen de la geometría y espesor de la losa.

Para satisfacer las necesidades del esfuerzo y espesor requerido, bajo una gran variedad de cargas, existen numerosos métodos de análisis, de los cuales se eligieron tres con los cuales se desarrollará el presente trabajo, estos métodos fueron seleccionados por ser los de más reciente creación y mayor aproximación a los modelos de trabajo real o de servicio. Los métodos seleccionados son los siguientes:

1.2.1. MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO:

Los métodos de ancho efectivo fueron desarrollados para el análisis de sistemas de losas bajo cargas laterales, y fueron primeramente utilizados para el análisis de losas planas. Este modelo se muestra en la figura 2.2.b., y en el se incorporan los efectos de la flexibilidad de la losa pero no la transferencia de los momentos. El concepto de ancho efectivo se basa en la ilustración de la figura 2.3.. La figura 2.3.a. muestra cómo una placa elástica se deforma a manera de columpio en el extremo que se conecta con la columna y en el extremo opuesto libre. Un cuerpo rígido

rectangular representa la columna . Como se muestra en la figura 2.3.b., la losa o placa se rota a lo largo de la sección AA como se muestra, el ángulo de rotación θ varía de un valor máximo, en el paño de la columna, hasta el extremo libre, donde la rotación es casi cero, o teóricamente cero.

Finalmente en la figura 2.3.c., el factor α del ancho efectivo se obtiene considerando el ancho donde deja de presentarse la rotación θ . Algunos diferentes anchos efectivos pueden calcularse, dependiendo de las consideraciones tomadas; sobre todo en la rigidez de la columna y de la viga o losa. Por ejemplo, si se considera que las dos columnas son bastante rígidas, entonces la losa no presenta deformaciones importantes, solo un poco en la frontera de la columna. Ahora sí se asume que la sección de la columna es toda flexible; entonces la losa está libre para deformarse entre las columnas y, en forma muy importante, en la frontera con la columna; lógico es que esta suposición está muy retirada de la realidad.

El caso de la columna rígida y una estructura elástica se pueden representar considerando una conexión elástica, o con presencia de resortes, como es el caso de las consideraciones hechas por Vanderbilt.

Considerando que la columna flexible no representa un sistema estructural real , esto se puede analizar bajo consideraciones de frontera de rigideces bajas y conexiones elásticas lineales. Diferentes consideraciones pueden ser tomadas con respecto a la rigidez de la viga., las zonas rígidas pueden considerarse a cada extremo de la viga o estas áreas pueden ser consideradas para varias partes de la viga.

1.2.2. MÉTODO DEL MARCO EQUIVALENTE:

Este método es propuesto por ACI para el análisis de losas en dos direcciones y esta basado en transformar un marco tridimensional, formado por columnas y losas en un marco coplanar formado por un elemento horizontal sometido a flexión y un elemento vertical, denominado columna equivalente el cual es la unión de las propiedades del elemento vertical sometido a compresión y el elemento perpendicular sometido a torsión.

1.2.3. EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE

Este método fue presentado por VANDERBILT y consiste en hacer unas modificaciones al método del ACI para poder tomar cargas laterales.

Los métodos anteriores, si bien existen, sus referencias bibliográficas no son muy accesibles; es decir, son un poco confusas para su aplicación, por lo cual la contribución de este trabajo para nuestra comunidad consiste en presentar un estudio accesible, para aplicar fácilmente los métodos descritos.

Por otro lado, no existe en nuestra comunidad un estudio comparativo de métodos de análisis, como el que ahora se presenta, también se pretende ilustrar la facilidad de cálculo entre

los métodos propuestos, lo cual sería otra contribución de este trabajo para nuestra comunidad estructurista.

Este trabajo también compara los resultados producto de los métodos mencionados anteriormente, en las siguientes cuestiones:

Momentos de diseño.

Factores de Rigidez (k) entre los elementos que constituyen cada método.

Efectos del agrietamiento y su repercusión en cada métodos, para tomarlos en cuenta en el cálculo.

Lo anterior supone los dos requerimientos de seguridad y de servicio que debe considerar un Ingeniero Estructural:

a) Que las cargas y/o sobrecargas en la estructura nunca excedan la carga máxima nominal.

b) Asegurarse de que en el nivel de cargas de servicio, la rigidez de la estructura sea tal que no se presente comportamiento inaceptable para la función que debe desempeñar.

Para satisfacer estos requerimientos, el Ingeniero debe llevar a cabo un análisis en un modelo lo más real posible, que le permita calcular acciones y desplazamientos, en cada uno de los elementos estructurales.

Con base en los resultados de los capítulos anteriores, se discutirá acerca del método más fácil de aplicar y de las

los métodos propuestos, lo cual sería otra contribución de este trabajo para nuestra comunidad estructurista.

Este trabajo también compara los resultados producto de los métodos mencionados anteriormente, en las siguientes cuestiones:

Momentos de diseño.

Factores de Rigidez (k) entre los elementos que constituyen cada método.

Efectos del agrietamiento y su repercusión en cada métodos, para tomarlos en cuenta en el cálculo.

Lo anterior supone los dos requerimientos de seguridad y de servicio que debe considerar un Ingeniero Estructural:

a) Que las cargas y/o sobrecargas en la estructura nunca excedan la carga máxima nominal.

b) Asegurarse de que en el nivel de cargas de servicio, la rigidez de la estructura sea tal que no se presente comportamiento inaceptable para la función que debe desempeñar.

Para satisfacer estos requerimientos, el Ingeniero debe llevar a cabo un análisis en un modelo lo más real posible, que le permita calcular acciones y desplazamientos, en cada uno de los elementos estructurales.

Con base en los resultados de los capítulos anteriores, se discutirá acerca del método más fácil de aplicar y de las

consecuencias de usarlo, así como también del método más eficiente; es decir, el que represente el modelo más real del sistema de cargas propuesto. Las conclusiones serán en este aspecto.

Se estudiarán edificios de planta y elevaciones rectangulares, formados por losas horizontales, conectadas por columnas verticales, sin elementos de arriostramiento lateral, ni vigas entre las columnas; es decir, toda la carga lateral será tomada por el efecto de marco.

CAPITULO No. 2

MÉTODOS DE ANÁLISIS

2.1. DIFERENCIA ENTRE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

La diferencia entre un marco ordinario de análisis y un marco en dos dimensiones de análisis, se puede visualizar de la siguiente manera; en la figura 2.1.a., se muestra un marco real en dos dimensiones, compuesto por vigas y columnas. En este sistema estructural, los momentos producidos por las cargas de gravedad son transferidos directamente por las vigas a las columnas; si las columnas son muy rígidas, estos momentos no se transfieren de un claro de la columna al otro claro adyacente; en cambio, si consideramos un sistema en dos direcciones, como el mostrado en la figura 2.1.b. los momentos se transfieren de un claro al claro adyacente; debido a la flexibilidad de la losa a torsión, por lo tanto, las cargas de gravedad aplicadas a un claro, producen momentos en ese claro y en el claro adyacente.

Estos momentos se transfieren al doble, debido al modelo usado. Esto se discutirá al final de esta tesis.

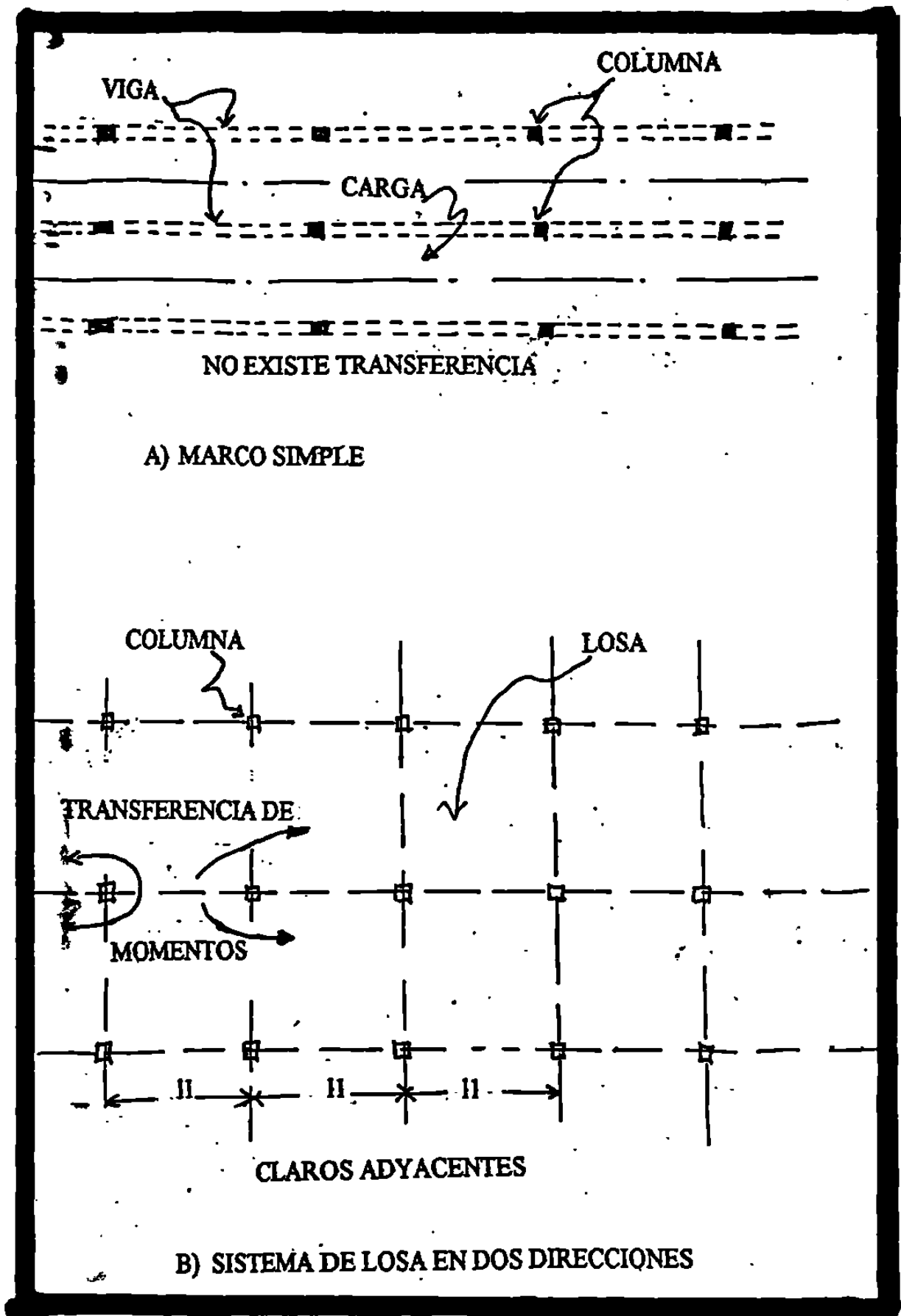
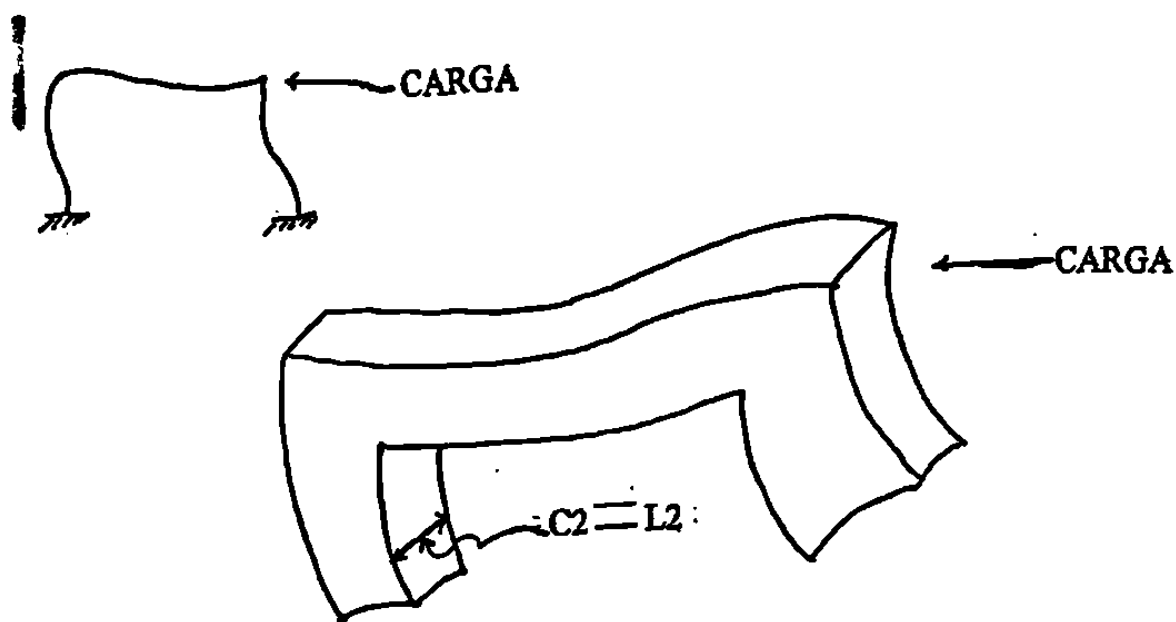
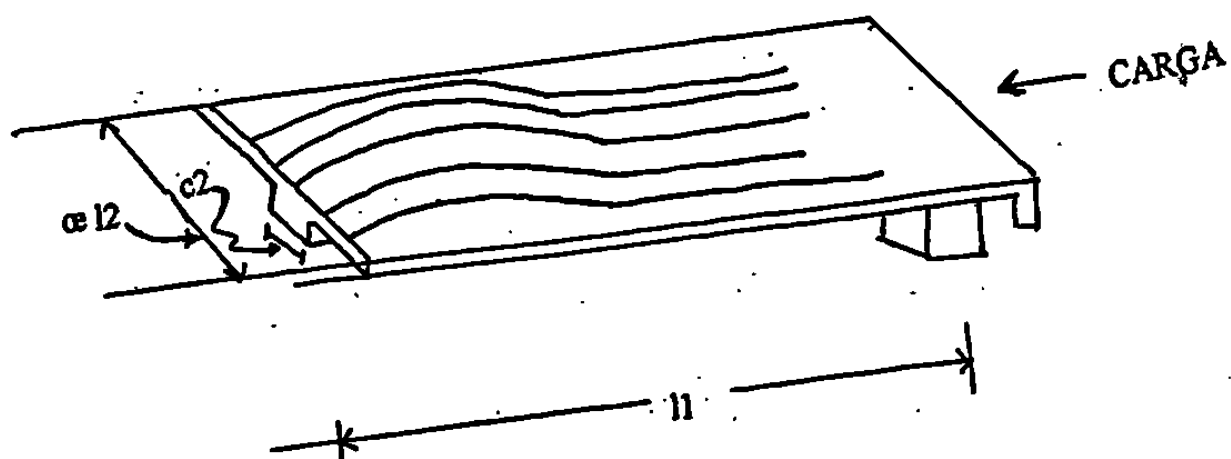


FIGURA 2.1. MECANISMO DE TRANSFERENCIA PARA CARGAS GRAVITACIONALES



A) MARCO SIMPLE



C) SISTEMA DE LOSA EN DOS DIRECCIONES

FIGURA 2.2. MECANISMO DE TRANSFERENCIA PARA CARGA LATERAL

Si se consideran cargas laterales, los métodos de análisis ordinarios y las de dos direcciones se pueden comparar como sigue: en la figura 2.2.a. se muestra una porción del marco-columna-viga, en este detalle se entiende que los momentos producidos por las cargas laterales son transferidos, directamente, de la columna a la viga y la distribución de momentos entre la viga y la columna depende de la rigidez relativa de ambos; lo cual, usualmente, es fácil de calcular. Por otro lado, si analizamos la figura 2.2.b., que es un detalle del marco en dos direcciones, formado por una losa que tiene un ancho semejante al señalado por el Instituto Americano del Concreto (ACI) l_2 , que es la separación entre columnas, se puede observar que los momentos son transferidos por la columna a la losa. En el sistema idealizado como una losa en dos direcciones, todo el ancho l_2 no debe ser considerado efectivo debido a la flexibilidad de la losa a torsión. Usualmente consideramos la losa como una viga de un ancho menor que el de l_2 y lo consideramos a través de αl_2 , donde el coeficiente α es un reductor del ancho total de la franja de losa, que se idealiza en el análisis, como se discutirá más tarde, en la tesis. Este valor de α depende de varias variables como son :

La rigidez de la columna.

La geometría de la losa (l_2/l_1)

El tamaño de la columna ($c_1/\ell_1; c_2/c_1$).

Para las cargas de gravedad, un modelo correcto de la flexibilidad a torsión, de la losa, es importante sólo para la columna de borde o extremo; sin embargo, bajo cargas laterales, la flexibilidad a la torsión, de la losa, es muy importante, sobre todo para losas planas que son las que analizaremos en esta tesis.

2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LOSAS CONSIDERANDO UN ANCHO EFECTIVO.

Los métodos de ancho efectivo fueron desarrollados para el análisis de sistemas de losas bajo cargas laterales, y fueron primeramente utilizados para el análisis de losas planas . Este modelo se muestra en la figura 2.2.b.. y en él se incorporan los efectos de la flexibilidad de la losa, pero no la transferencia de momentos.

A continuación presentare una reseña del estudio hecho por Khan y Sbarounis publicada en el ACI (Instituto Americano del Concreto) Referencia No.22.

Como una pequeña parte de una larga investigación sobre la interacción en muros y marcos a corte , Khan y Sbarounis (1964)

analizaron y experimentaron la interacción losa columna para obtener diversos valores de ancho efectivo a través del coeficiente α , esto lo hicieron utilizando una losa plana bajo cargas laterales

Usando la figura 2.4.a. en la cual se muestra el interior de un panel con la unión losa columna, estudios analíticos investigaron la variación del ancho efectivo en losas planas como una función de la relación de claros l_1/l_2 . El modelo está colocado entre las líneas de inflexión perpendiculares a la dirección de carga y las líneas de simetría paralelas a la dirección de la carga.

Usando una placa simulada por elementos finitos como se muestra en la figura 2.4.a. en ella se colocaron momentos aplicados en el centro para obtener las rotaciones en el extremo de la losa columna o losa viga. La malla de rigideces fue entonces calculada como la relación entre el momento y la rotación. Finalmente, el coeficiente α del ancho efectivo se obtuvo por la división de la rigidez obtenida de la malla del modelo y la rigidez obtenida de un apoyo simple con claros l_1 y l_2 y el momento, aplicado en el centro M_o . Debido a las limitaciones de los sistemas computacionales, los análisis fueron hechos para claros y limitaciones supuestas; pero se pudieron hacer extrapolaciones para reproducir una malla de análisis más real.

Los estudios se realizaron usando losas rectangulares; este tipo de losas se pueden ver en la figura 2.4.b en donde, además, se utilizaron dos cargas P_1 , P_2 y se midieron las rotaciones correspondientes. Diferentes tipos de anchos de columnas fueron

analizados y estudiados para obtener una gráfica de valores de α contra la relación $c1/l1$, la cual se muestra en la figura 2.4.c.

Los valores obtenidos de α en forma experimental resultaron ser menores de los obtenidos analíticamente en un 15 % , las razones que expusieron los autores para esta discrepancia son:

- 1.- Las consideraciones de frontera (modelo experimental vs modelo analítico)
- 2.- Los diferentes valores de la relación de Poisson.
- 3.- El método de prueba.
- 4.- La extrapolación hecha para encontrar mallas mas reales acercarse al método analítico.

La investigación hecha por Khan y Sbarounis involucra el siguiente proceso: Usando la dimensión de la columna $c1$ y el claro $l1$, el factor α se puede obtener usando la gráfica de la figura 2.4.c. Para obtener el ancho efectivo este factor α se debe multiplicar por el claro $l2$, con este procedimiento se puede usar un método convencional para el análisis del marco.

Khan y Sbarounis (1961) asumen una solución elástica y recomiendan despreciar los efectos del agrietamiento. Este método se puede utilizar para losas interiores planas sujetas a carga lateral.

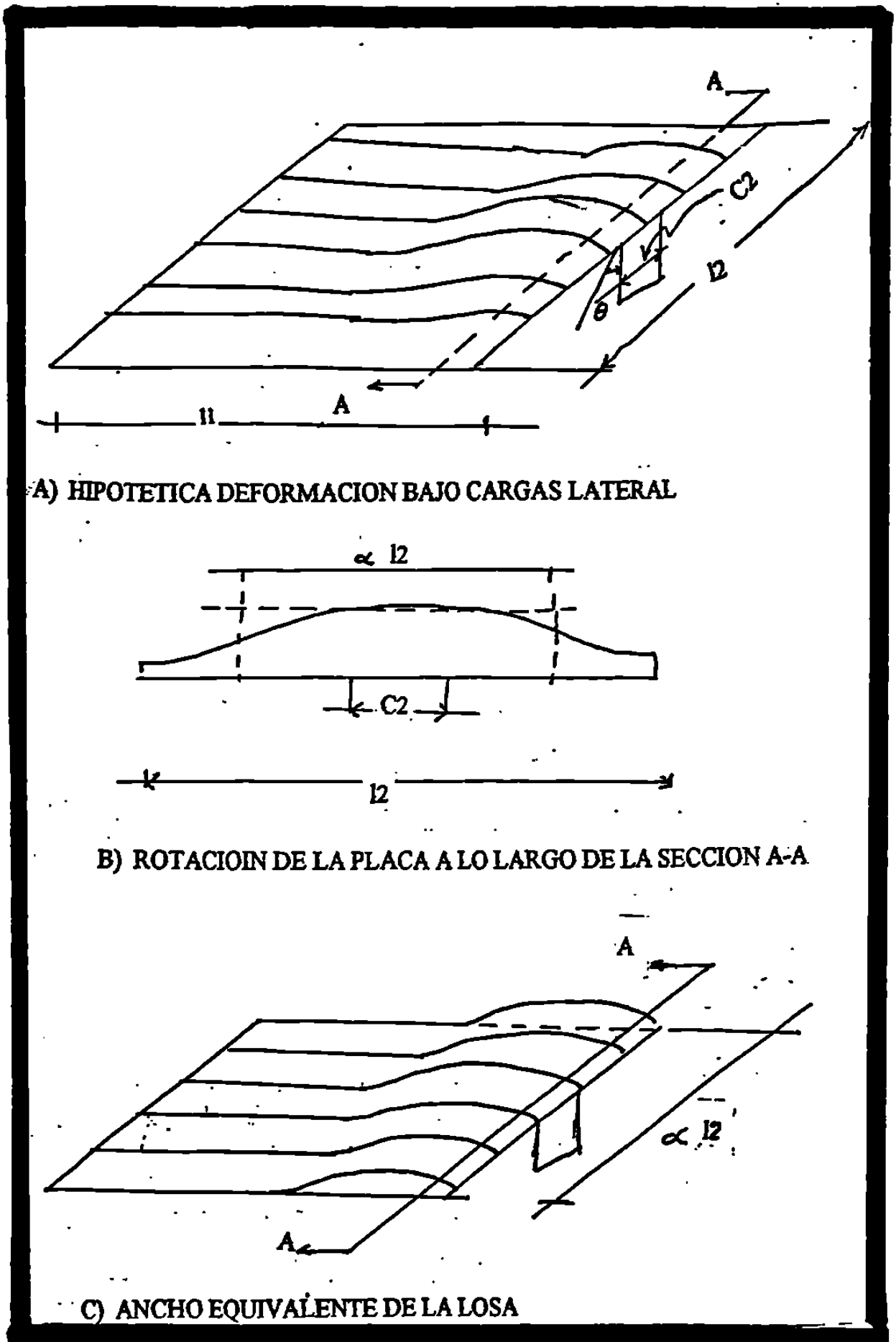
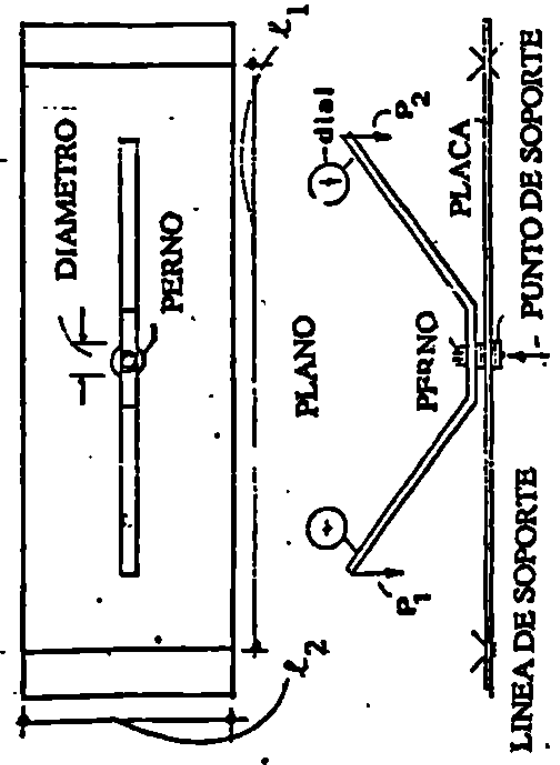
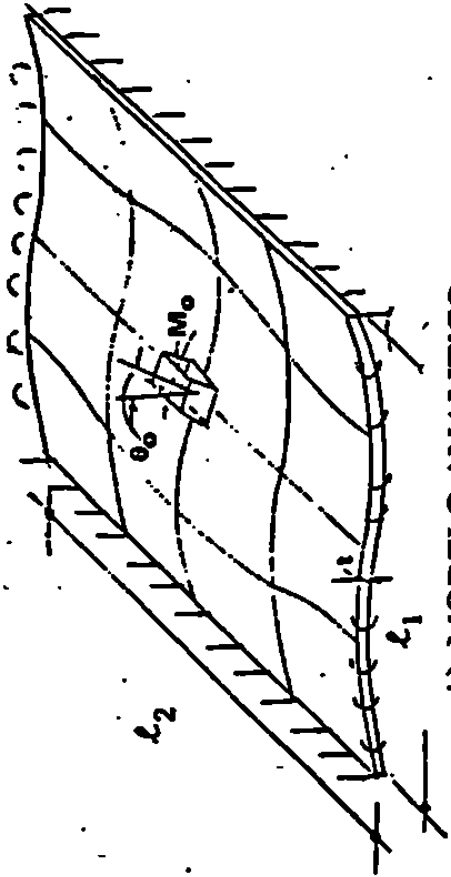
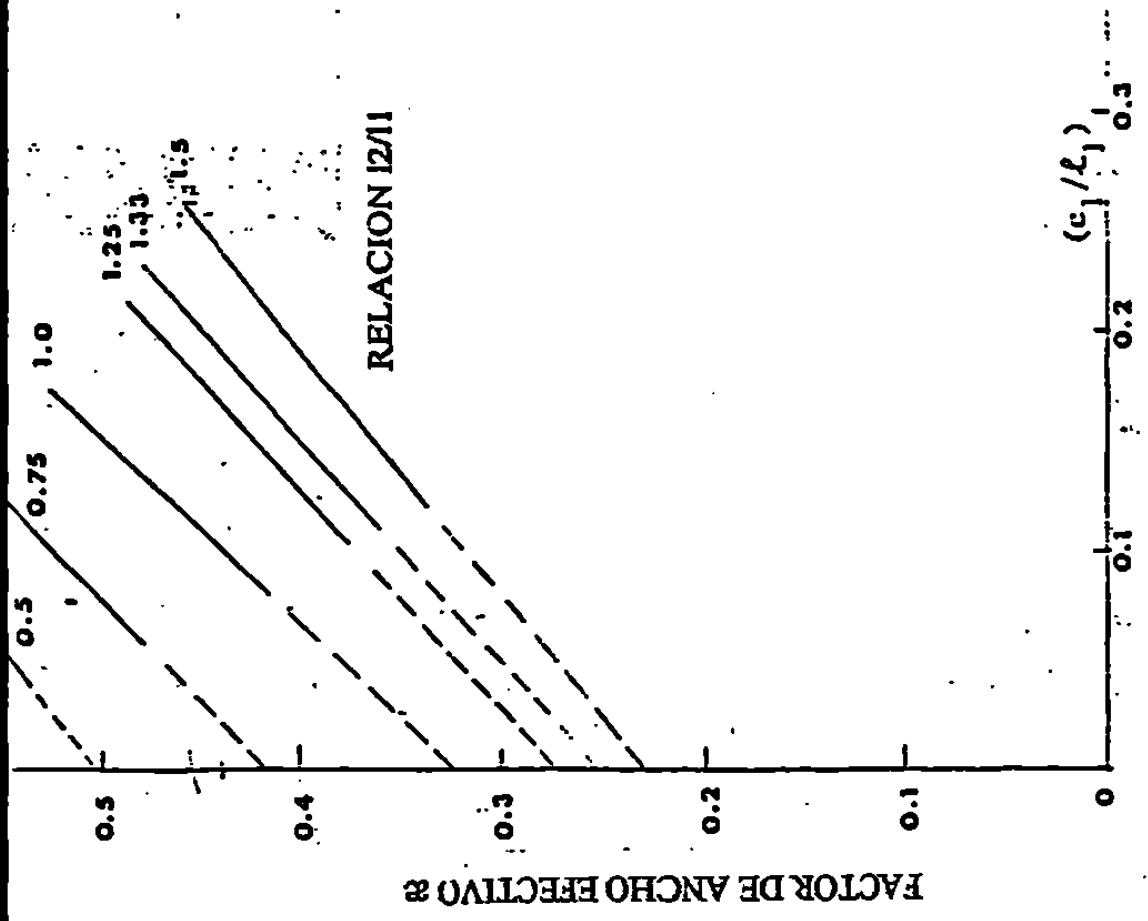
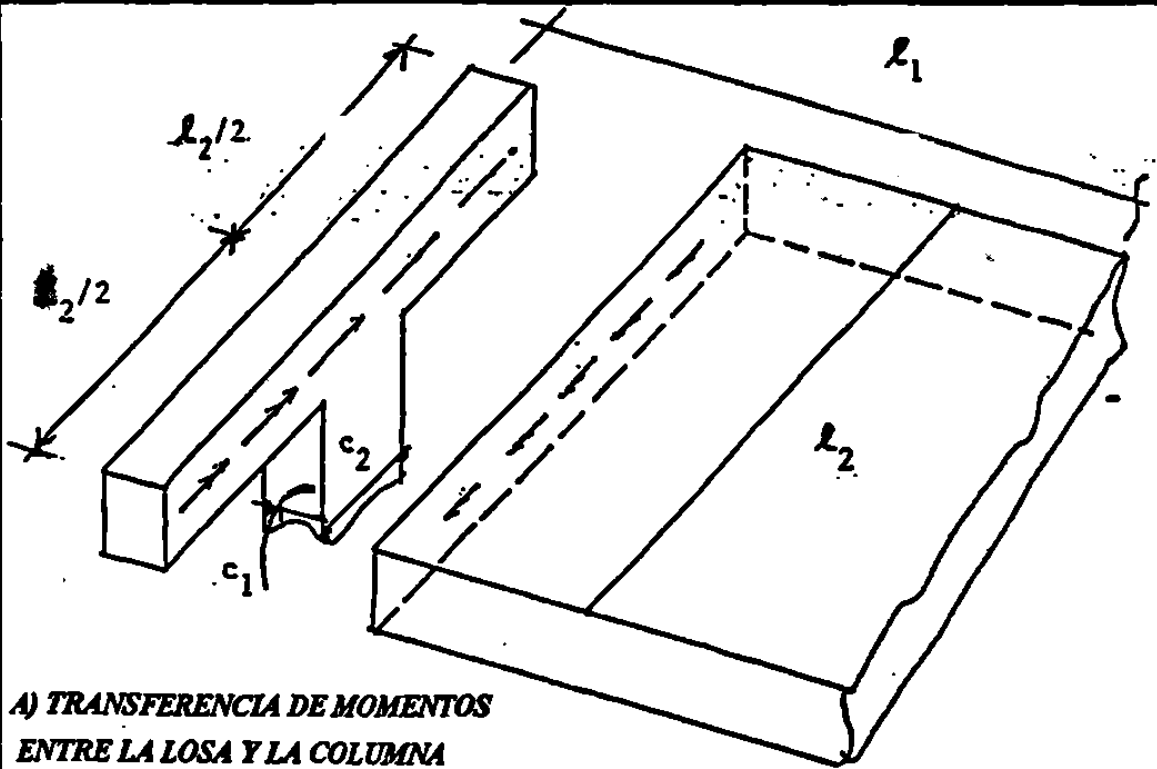


FIGURA 2.3. CONCEPTO DEL ANCHO EFECTIVO.

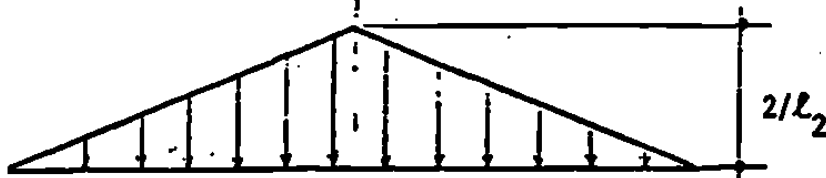
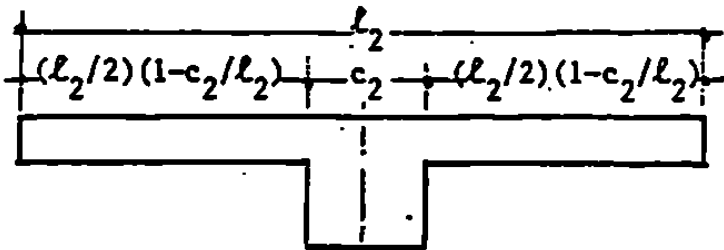


C) GRÁFICA PARA DISEÑO.

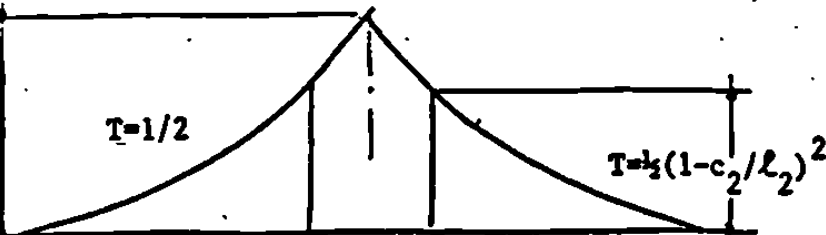
FIGURA 2.4. GRÁFICA REALIZADA POR KAN Y SBAROUNIS



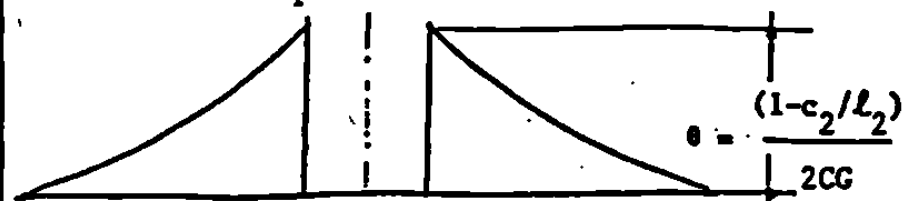
A) TRANSFERENCIA DE MOMENTOS ENTRE LA LOSA Y LA COLUMNA



B) DISTRIBUCION DE MOMENTO UNITARIO A LO LARGO DE LA COLUMNA



C) DIAGRAMA DE MOMENTO TORCIONANTE



D) DIAGRAMA DE ROTACION UNITARIA

FIGURA 2.5. DESARROLLO DE LA RIGIDEZ TORSIONAL DEL ELEMENTO A TORSIÓN K_t .

El comportamiento del modelo, cuando se usa para cargas gravitacionales, puede permitir el transporte de momentos. La porción de losa cercana a la columna produce esta distribución, debido a que se incluye la rigidez torsional de la losa, y permite que parte del valor del momento pueda distribuirse o transportarse a la columna, de acuerdo con la rigidez a la flexión de ésta. El concepto general del elemento torsional a sido incorporado a los procedimientos de diseño, sólo para casos específicos y existen actualmente investigaciones muy importantes de este modelo, para poder incorporarlos a teorías del Instituto Americano del Concreto. En este estudio sólo hablaremos de dos el MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE DEL ACI y la EXTENSIÓN HECHA A ESTE MÉTODO POR VANDERBILT; . A continuación se presenta una descripción condensada de cada uno de los elementos que constituyen cada uno de estos dos métodos y en los apéndices A y B aparece una descripción más detallada de cada uno de ellos.

2.3.1. MÉTODO DEL MARCO EQUIVALENTE DEL ACI

EL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE DEL ACI fue analizado a finales de 1929, por un comité que estudió el código o reglamento de construcciones de California y se presentó como un método de análisis opcional, en 1933. Posteriormente, una versión modificada apareció en el reglamento del ACI, en 1941. El procedimiento de diseño que apareció en 1963 es muy parecido al de 1941 excepto por algunas modificaciones adicionales, así como por recomendaciones más especiales para su uso. En este trabajo discutiremos el Método de Marco Equivalente del ACI, edición 1995.

Para el análisis de losas en dos direcciones, es común utilizar aproximaciones para facilitar el cálculo, tales aproximaciones suelen ser los momentos al ser redondeados de acuerdo a su comportamiento real así como la rigidez real del elemento o los miembros que conforman el marco de trabajo o simplemente el marco.

Debido a que la estructura que comenzaremos a analizar es una losa en dos direcciones, la razón de nombrar marcos se justifica ya que realmente se utiliza un marco tridimensional transformado a un marco

Lo primero que requiere el Método de Marco Equivalente del ACI es que la construcción pueda ser idealizada como una serie

de marcos equivalentes , los cuales se desarrollan longitudinal y transversalmente como se muestra en la figura 2,6.a. Los marcos se denominan exterior e interior y los dos tienen distintos procedimientos de cálculo. Como se muestra en la figura 2.6b el marco tridimensional real se considera como un elemento compuesto por la losa y viga, (elementos horizontales con cierta rigidez a la flexión K_s) un soporte o ensamble que son las columnas (elemento vertical con cierta rigidez a la flexión K_c) y miembros torsionales (elementos transversales con cierta rigidez torcional K_t). Como se muestra en la figura 2.6c , un marco planar puede desarrollarse considerando un elemento compuesto por la losa y la viga (elementos horizontales con rigidez K_s) soportadas por columnas equivalentes (elementos verticales con rigidez a la flexión K_{ec} que se define a continuación).

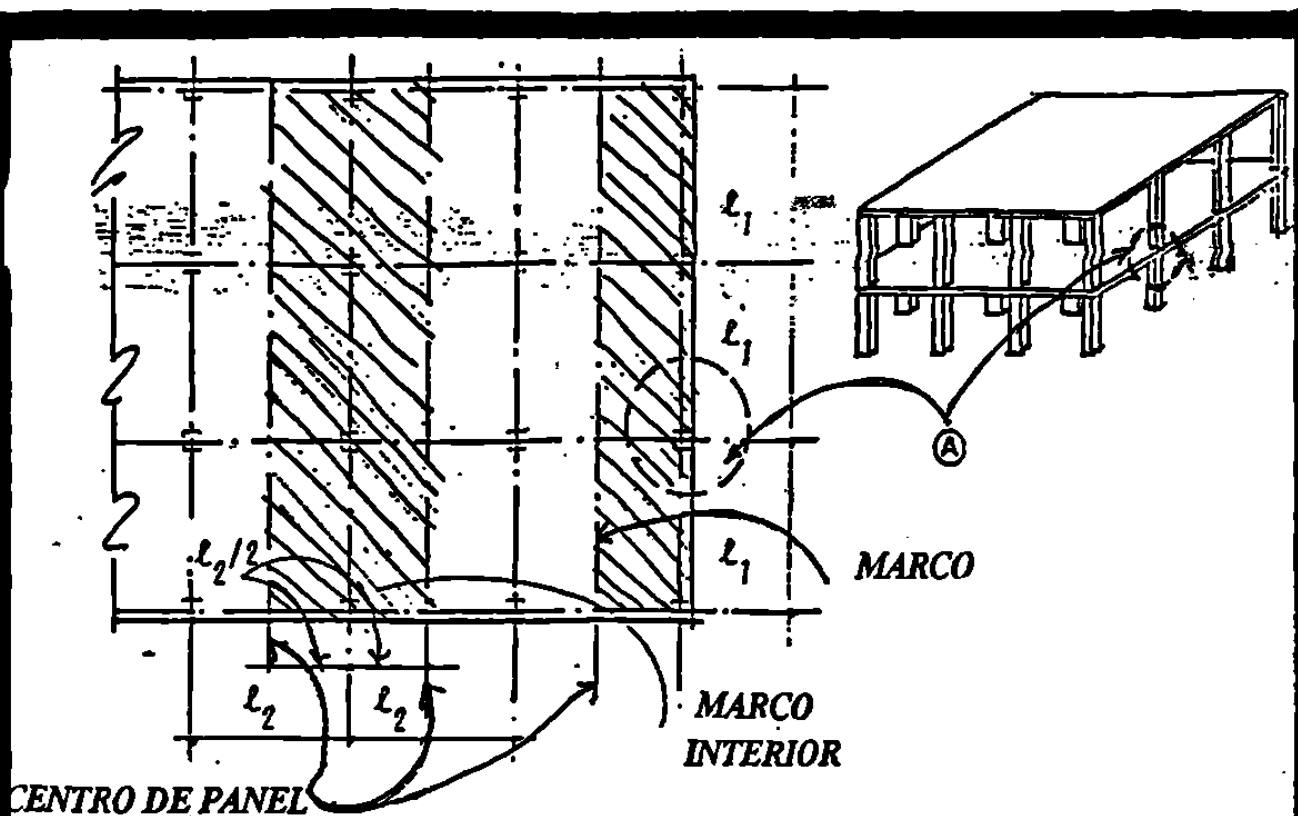
La rigidez de la columna equivalente se define como :

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_t} + \frac{1}{\sum K_c}$$

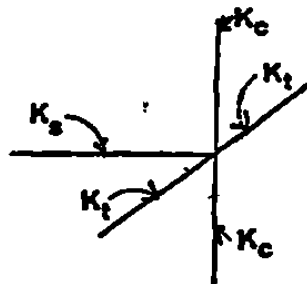
donde el significado de cada literal que aparece en la anterior fórmula es la siguiente.

K_{ec} = La flexibilidad de la columna equivalente es la suma de la flexibilidad de la columna real y la flexibilidad a la torsión de los elementos adyacentes .

El Método de Marco Equivalente del ACI define procedimientos precisos para el cálculo de la rigidez de los elementos que se involucran en el análisis, como son K_t , K_c y K_s . A continuación daré una explicación condensada de cada uno de estos procedimientos; el procedimiento detallado se encuentra en el anexo A.



A) DEFINICION DE LOS MARCOS EQUIVALENTES EN ISOMETRIA



B) MIEMBROS QUE FORMAN UN MARCO TRIDIMENSIONAL (DETALLE A)



C) MIEMBROS QUE FORMAN UN MARCO EQUIVALENTE

FIGURA 2.6. ELEMENTOS ASUMIDOS POR EL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE SEGÚN ACI.

2.3.1.1. RIGIDEZ DEL ELEMENTO TORSIONAL K_t :

El concepto del elemento torsional fue propuesto por Corley.(Referencia No.20) originalmente , el momento unitario que puede transferirse de desde la losa a la columna se considero uniformemente distribuido atreves del ancho de la losa, posteriormente Jirsa modifico la distribución, como se muestra en la figura 2.5.b. El momento torsional resultante se muestra en la figura 2.5.c y el diagrama de rotaciones unitarias se muestra en la figura 2.5.d.

La rigidez torsional del elemento se describe y calcula de la siguiente manera:

Por definición, la rigidez rotacional es igual al momento aplicado en un punto, dividido entre la rotación que ocurre en ese punto. En la figura 2.5c y 2.5 d. el momento y la rotación son distribuidos sobre la longitud del elemento torsional y, por lo tanto, la rigidez rotacional puede definirse como la integral de la ecuación del diagrama sobre la longitud l^2 . Para evitar o facilitar esta integración Corley y Jirsa describieron el procedimiento descrito en el apéndice A, que presenta, en detalle, esta solución.

Como un promedio de la rotación sobre el elemento torsional, se puede considerar un tercio del área del diagrama de rotación unitaria (como se muestra en la figura 2.5.d) y esta rigidez puede considerarse igual a un medio del troqué aplicado(dos vigas

transversales). Por lo tanto, la rigidez a la torsión del elemento es de:

$$K_t = \sum \frac{9EC}{l^2} \left[1 - \left(\frac{C_2}{l^2} \right) \right] \quad \text{-----(2)}$$

El desarrollo de la ecuación anterior está basado en el comportamiento de una losa sólida plana. Para losas con vigas longitudinales, la ecuación de K_t debe ser afectada por el factor:

$$I_{sb}/I_s \quad \text{-----(3)}$$

donde:

I_{sb} es igual al momento de inercia de la viga longitudinal mas la losa cercana con un ancho l^2 , y es igual al momento de inercia del la losa en la sección con ancho l^2 . . La ecuación (3) reproduce o incrementa la rigidez, debido a la acción de la viga en la dirección en la cual el marco idealizado trabaja. Los momentos se podrán transferir a través de esta viga, y por lo tanto, el miembro transversal sometido a torsión tendrá poco efecto en el calculo de K_{ec} .

El valor de K_t , tomado de la ecuación, (2) no es correcto para una estructura elástica, esto se discute por Jirsa y Corley en la referencia 17.. Sin embargo la ecuación (2) fue comparada por la Universidad de Illinois con pruebas de losas y en todas se observaron agrietamientos de la losa sometida a cargas gravitacionales. Esto lo analizaremos en las conclusiones de la tesis.

2.3.1.2. RIGIDEZ DE LA COLUMNA K_c :

Debido a que K_c es independiente de la rigidez torsional K_t , ésta puede ser calculada convencionalmente, como se describe con detalle, en el anexo A . Como se muestra en la figura 2.7a. el momento de inercia en una sección de la columna entre la losa superior y la losa inferior, es fácilmente calculado,. sin embargo, esta inercia es infinitamente mayor, dentro de los espesores de la losa, arriba y abajo.

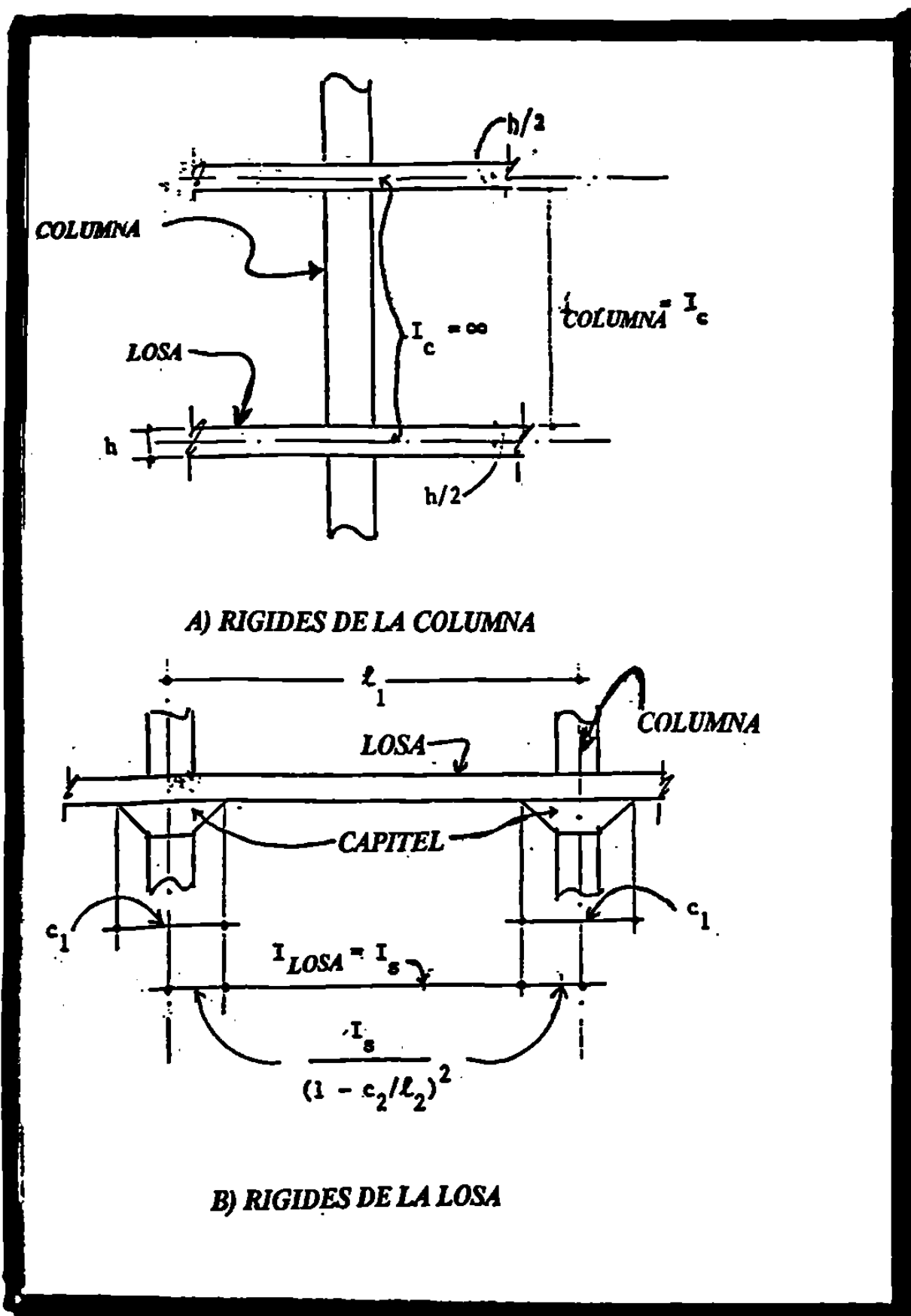


FIGURA 2.7. RIGIDEZ DE LA COLUMNA DE ACUERDO AL MARCO EQUIVALENTE DEL ACI.

2.3.1.3. RIGIDEZ DE LA LOSA K_s :

Como se puede observar en la figura 2.7b la rigidez de la losa es calculada convencionalmente y se ajusta o modifica con la expresión:

$$I_s = I_c \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{c_2}{l_2} \right)^2}$$

debido a las siguientes razones:

- a) Se incrementa la rigidez a la flexión de la losa debido a determinaciones hechas con análisis tridimensionales y comprobadas con pruebas de laboratorio, como se indica en la referencia 11.
- b) Para considerar el incremento de la rigidez a la flexión de la losa se obtienen colocando momentos de inercia en el inicio y final del elemento y calculando los momentos de inercia de la losa y la columna.

EL Método de Marco Equivalente, del ACI, fue comparado con el comportamiento de losas bajo cargas de gravedad en el laboratorio, por la Sociedad de Ingenieros Civiles de América y por la Universidad de Illinois. Estas pruebas fueron hechas con cuatro modelos a escala, de una losa plana y dos losas sólidas con vigas. Los resultados de las series de losas planas indicaron que el Método de Marco Equivalente del ACI cumple satisfactoriamente con los momentos medidos para cargas con patrones regulares. Estos resultados se detallan en el Journal Proceeding, volumen 67 (Referencia No.10) . Los resultados de las pruebas para cargas uniformemente colocadas mostraron que el momento estático calculado en el diseño es muy cercano al obtenido mediante medición directa.

El Método de Marco Equivalente del ACI se aplica de la siguiente manera: como se indica en el ACI 318/95 e ilustrado en la figura 2.6.a. Después de dividir el edificio en una serie de marcos paralelos independientes, éstos son considerados por separado y se diseñan longitudinal y transversalmente. Si los marcos son regulares en planta y cumplen algunos requisitos establecidos por el ACI, se presenta un procedimiento aproximado para encontrar los momentos y los cortantes de la estructura. Este método es llamado "MÉTODO DE DISEÑO DIRECTO", el cual es comparable con el anterior método empírico de coeficientes que apareció en el ACI, en 1963. Si los marcos no cumplen con los requisitos de Método Directo, se puede utilizar el Método de Marco Equivalente o algún método alternativo.

Si se utiliza el Método de Marco Equivalente , para cada marco individual, se debe calcular la rigidez de la columna

equivalente K_{ec} y la rigidez de la losa K_s y, por lo tanto, los momentos y los cortantes de diseño pueden ser encontrados.

Desde el punto de vista del DISEÑADOR , el Método de Marco Equivalente del ACI tiene los siguiente problemas:

- 1).-El procedimiento que sugiere el ACI requiere de mayor cantidad de tiempo y de complejas operaciones para el cálculo de la rigidez a la torsión (K_t), de la columna (K_c) y de la losa (K_s).
- 2).-La rigidez de la columna equivalente (K_{ec}) fue desarrollada para cargas de gravedad. El Método de Marco Equivalente puede, en teoría, ser aplicable para analizar bajo carga lateral; pero solamente si la estructura se prepara para tomar la carga lateral, debido al agrietamiento de la viga-losa . El ACI 318/83 clarifica un poco esta situación mediante el requerimiento de reducir la rigidez de la losa (K_s), para incluir este efecto de agrietamiento .

2.3.2. EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE POR VANDERBILT.

Diversos estudios se han desarrollado para usar el concepto de marco equivalente en la solución del análisis de marcos de diversos pisos, sujetos a carga lateral (Referencia No.12). Como el Método de Marco Equivalente del ACI , una estructura real tridimensional formada por losa y columnas se puede aproximar a

una serie de marcos en dos dimensiones. La rigidez de los elementos K_c , K_t y K_s se calculan como se discutió anteriormente. Las consideraciones o hipótesis hechas permiten el uso del concepto de marco equivalente, para edificios de varios pisos o de dos pisos. Dos modelos se han desarrollado en los últimos años, estos métodos son:

- 1) El modelo de la columna equivalente, basado en una columna equivalente con rigidez K_{ec}**
- 2) El modelo de losa equivalente, basado en una losa viga equivalente con una rigidez K_{es} .**

La columna equivalente representa una columna (miembro vertical a flexión) con elementos transversales sometidos a torsión, la losa equivalente representa una losa (elemento horizontal a flexión) con elementos torsionales sometidos a torsión.

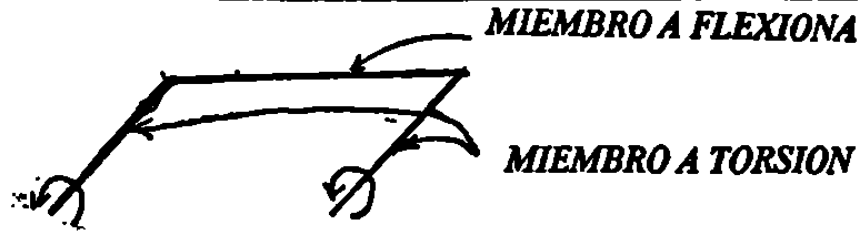
Para cargas de gravedad, el modelo de columna equivalente (K_{ec}) duplica la transferencia de momentos y los efectos de flexibilidad a la torsión en la losa.

Para cargas laterales, el modelo de columna equivalente (K_{ec}) puede presentar estos efectos en la flexibilidad a la torsión de la losa..

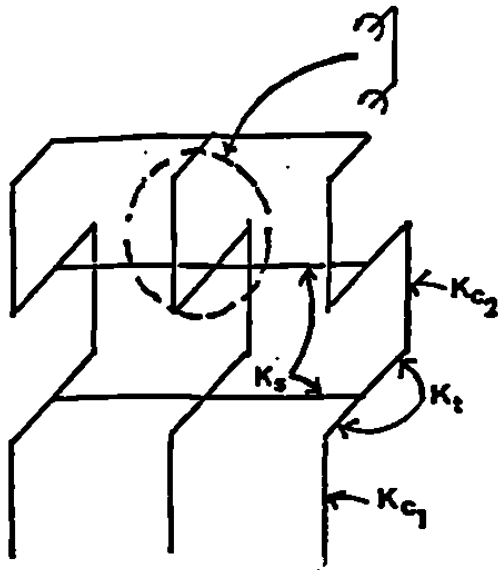
Para cargas de gravedad el modelo de losa equivalente (K_{es}) no duplica la transferencia de momentos,

Para cargas laterales, el modelo de losa equivalente (K_{es}) duplica los efectos de flexibilidad torsional de la losa.

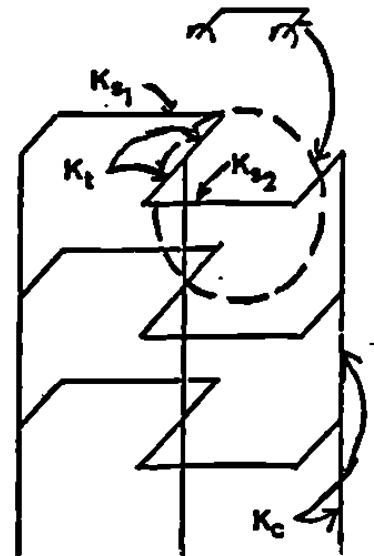
Estos modelos se desarrollan usando una estructura tridimensional, como la que se muestra en la figura 2.9.a. Esta estructura consiste en un elemento a flexión (columna o losa) en serie con dos elementos torcionales a cada lado . Esta estructura, tratada como columna equivalente se observa en la figura 2.9b . Una estructura semejante, idealizada como modelo de losa equivalente, se muestra en la figura 2.9c.



A) ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL (MIEMBROS A FLEXION EN SERIE CON DOS ELEMENTOS A TORSION)

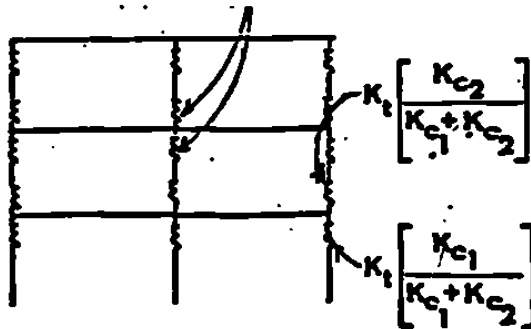


B) MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA COLUMNA EQUIVALENTE K_{ec}



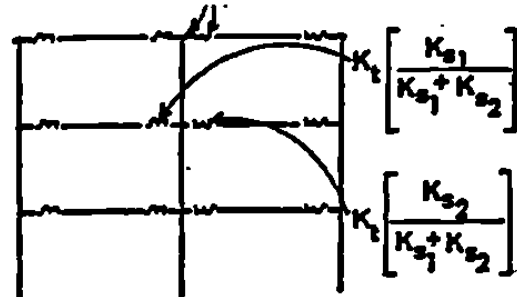
C) MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA LOSA EQUIVALENTE K_{es}

DISTRIBUCION DE K_c



D) MODELO EN DOS DIMENSIONES K_{ec}

DISTRIBUCION DE K_s



E) MODELO EN DOS DIMENSIONES K_{es}

FIGURA 2.9. EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE DE VANDERBILT.

Para analizar el marco tridimensional y los modelos de las figura 2.9b y 2.9c que son marcos en dos direcciones , se recomiendan los siguientes pasos:

- 1) La rigidez torsional del elemento transversal se distribuye entre los dos elementos adyacentes a flexión (columna o losa) en proporción de sus relativas rigideces a flexión (K_c o K_s) , esto da como resultado los modelos que se muestran en la figura 2.9d y 2.9e.
- 2) Determinar los elementos de la matriz de rigideces que resultan de la sub-modelos de las figura 2.9a y 2.9b , las cuales pueden ser analizados por procedimientos tradicionales . Colocar los miembros torcionales en serie con los miembros a flexión . La derivación de estas fórmulas se pueden estudiar en el anexo B.
- 3) Realizar el análisis de la sub estructura o sub modelo convencionalmente considerando esta estructura como un marco en dos direcciones tradicional.

Investigaciones realizadas con respecto a este tipo de modelaje, actualmente están en proceso en la Universidad de Illinois y en la Asociación de Cemento Portland; pero ninguna de ellas se ha terminado; por lo cual no es posible la verificación de estos modelos; sin embargo, se puede hacer una verificación a través de la comparación de los resultados obtenidos en pruebas con marcos, en escala hechas por la Universidad de Austin Texas. Este se encuentra en el anexo C .

CAPITULO 3.

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CALCULO DE CADA MODELO DE ANÁLISIS.

Un método rápido para el cálculo de losas se debe desarrollar apropiadamente. En esta sección presentaremos una discusión de los métodos existentes para el cálculo de losas en los métodos descritos en los capítulos anteriores. La comparación se hace en función de la estructura que se muestra en la figura 2.6.

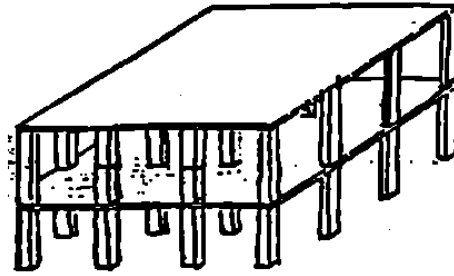
3.1. MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO:

Como se discutió en la sección 2.1., los valores del ancho αl_2 tiene que ser desarrollada primeramente para losas planas, sujetas a carga lateral, y son estrictamente válidas solamente para cada sistema estructural estudiado.

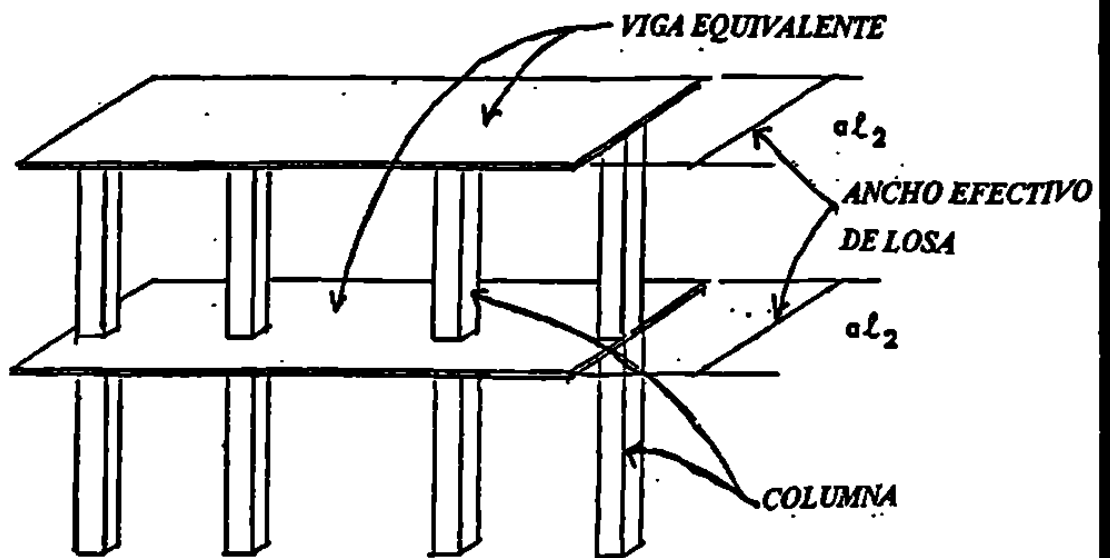
3.1.1. Modelo del ancho efectivo:

Como se muestra en la figura 3.1a., una losa plana será analizada para carga lateral. La estructura tridimensional es idealizada como una serie de marcos paralelos, en dos direcciones, a cada lado de la dirección principal de la estructura. Un marco interior típico se muestra en la figura 3.1.b, y éste consiste en vigas de un ancho efectivo, soportadas por una columna y el modelo correspondiente a este sistema se muestra en la figura 3.1.c.

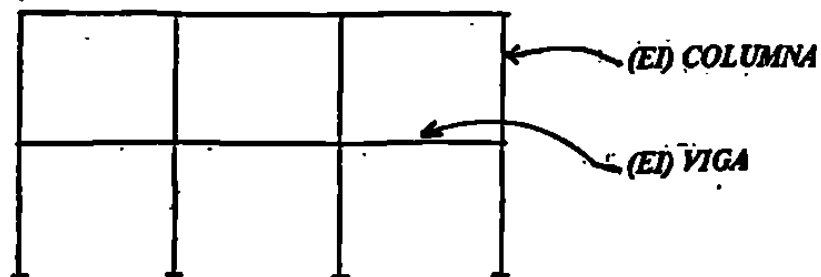
Los datos necesarios generales para cada losa-viga son, Área (A), Longitud (L), Área de Corte (\bar{A}_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_b), todos estos datos basados en el ancho efectivo αl . Los datos necesarios para las columnas, en general, consisten en: Área (A), Altura (H), Área de Corte (A_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_c).



A) LOSA PLANA EN TRES DIMENSIONES



B) MARCO INTERIOR EQUIVALENTE



C) MODELO EN DOS DIMENSIONES DE UN MARCO EQUIVALENTE.

FIGURA 3.1. MODELO DEL MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO.

3.1.2. EFECTOS DEL AGRIETAMIENTO :

Como se discutió en la sección 2.1. el factor α del ancho efectivo depende de la rigidez , y ésta es definida como la parte de la sección transversal de la losa, entre la columna. El agrietamiento se puede considerar si :

- 1) Si el factor " α " del ancho efectivo es basado en una rigidez de la unión losa-columna sin agrietar (Sección 2.1.), , la rigidez de la losa viga puede ser reducida para representar el agrietamiento de todos los elementos de la estructura, esto multiplicando el ancho losa viga (αl_2) por un factor de reducción apropiado (4).**

- 2) Si el factor de ancho efectivo α esta basado en una rigidez de la losa columna agrietada, la rigidez de la losa viga es apropiada para el modelo, incluyendo los agrietamientos de los elementos de la estructura.**

El diseño completo de una losa plana debe incluir los dos análisis para carga de gravedad y las cargas laterales. Si el método de ancho efectivo es seleccionado para cargas laterales , un análisis de cargas por gravedad se requiere para completar el diseño completo.

3.2. MÉTODO DEL MARCO EQUIVALENTE DEL ACI:

3.2.1. Modelo de la Columna Equivalente :

La distribución de momentos se involucra en este método de análisis; por lo cual, es conveniente ensamblar varios marcos de un modelo simple , es decir de dos pisos , la losa con columnas arriba y abajo. Considerando el procedimiento tradicional adoptado por ACI, la estructura con varios pisos ; para cada columna es necesario calcular la rigidez de la columna equivalente K_{ec} , y también el momento de inercia I_c , así como también la rigidez flexionante de la columna, definida como $(4E_c I_c / h_c)$.

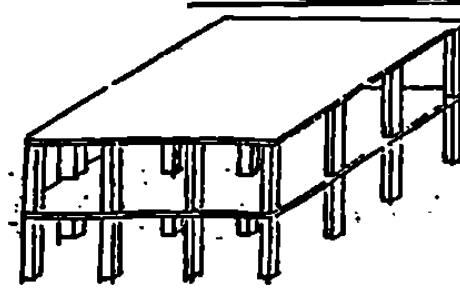
Estos "Valores de Inercia" son fácilmente calculados; sin embargo , K_{ec} es la rigidez rotacional de la junta y no de la columna. El Método de Marco Equivalente del ACI se aplica a una sub-estructura de un entrepiso considerando columnas arriba y abajo de la losa y empotradas en el extremo.

En la figura 3.2.a., se muestra un modelo para analizar una estructura tridimensional, bajo el efecto de cargas de gravedad o cargas laterales, usando el Método de Marco Equivalente. Un marco interior se muestra en la figura 3.2.b, ahí puede verse una serie de elementos losa-viga conectadas a columnas a través de elementos transversales sujetos a torsión, como se ve en la figura

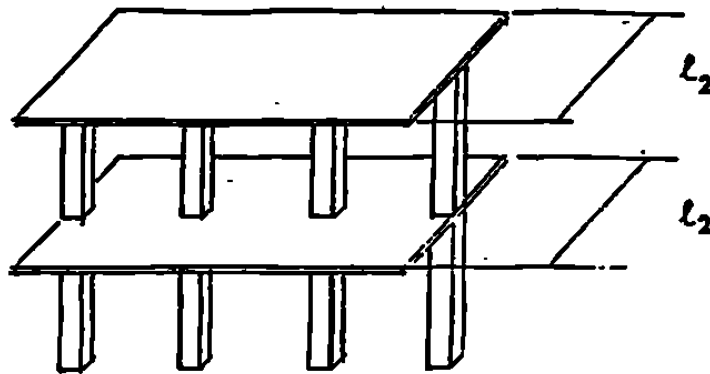
3.2c. Las propiedades de los elementos K_{ec} y K_s son reales usando el modelo final en dos dimensiones, que se muestra en la figura 3.2d.

Los datos necesarios para cada una de las losa-viga son : Área (A), Longitud (L), Área de Corte (A_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia(I_b).

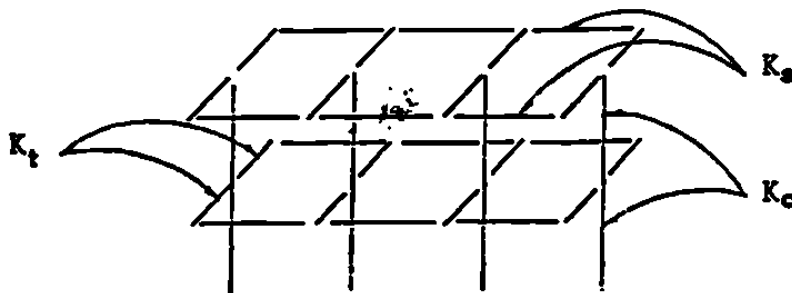
Por otro lado, los datos necesarios para cada columna son: Área (A), Altura (H) , Área de Corte (A_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_c o I_{avg} .)



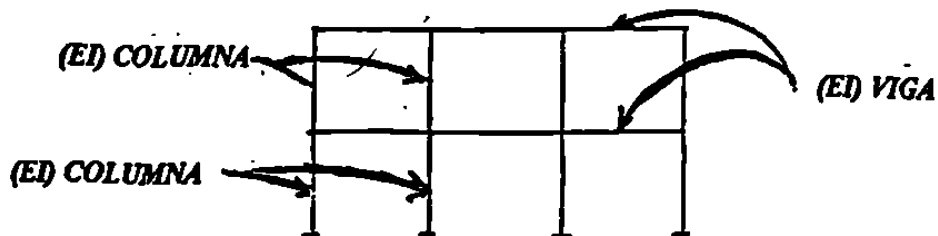
A) LOSA PLANA EN TRES DIMENSIONES



B) MARCO INTERIOR EQUIVALENTE



C) MODELO EN TRES DIMENSIONES DE UN MARCO EQUIVALENTE.



D) MODELO EN DOS DIMENSIONES DE UN MARCO EQUIVALENTE.

FIGURA 3.2. MODELO DEL ANÁLISIS DE MARCO EQUIVALENTE POR ACI.

3.2.2. EFECTOS DEL AGRIETAMIENTO :

Como está especificado por el ACI 318/95 , las propiedades de la losa-viga y la columna pueden ser usadas para considerar el efecto del agrietamiento si:

- 1) HAY SÓLO CARGAS DE GRAVEDAD.** Debido a que la rigidez torsional de los elementos K_t se desarrollaron a partir de pruebas de laboratorio, las cuales presentaron algunas grietas, no es necesario considerar las grietas que se presentan en los elementos. Por otro lado, las propiedades de la losa-viga están basados en el ancho completo t_2 , sin embargo, este modelo no debe aplicarse para losas previamente agrietadas o para combinación de cargas de gravedad y laterales. (Referencia No.1)

- 2) CUANDO HAY CARGAS LATERALES :** El agrietamiento de todos los elementos puede ser considerado explícitamente si se reduce la rigidez de la losa-viga, por lo tanto , el ancho total de la losa-viga debe ser multiplicado por un factor de reducción β . Este factor es usualmente de 0.25 a 0.33 para el caso de losa planas. (Referencia No.1)

Si el Método de Marco Equivalente del ACI es seleccionado para analizar losas en dos direcciones , pueden considerarse las siguientes opciones:

-
- 1) **Deben hacerse por separado dos análisis: uno para la carga de gravedad (no se debe incluir los efectos de agrietamiento) y otro para las cargas laterales (deben considerarse los efectos de agrietamiento). Para esto se deben utilizar dos modelos diferentes y se deben combinar los resultados obtenidos.**

 - 2) **Se puede hacer un análisis para considerar los dos tipos de cargas: de gravedad y lateral; pero en este caso se deben considerar los efectos de agrietamiento que ocurre y se debe buscar entonces un modelo simple de análisis cuya solución sería posible con el uso de computadoras.**

3.3. EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE (VANDERBILT)

3.3.1. MODELO DE LA COLUMNA EQUIVALENTE

La estructura tridimensional de una losa plana que se muestra en la figura 3.3a será analizada para cargas gravitacionales y/o laterales . Un marco tradicional interior , se muestra en la figura 3.3.b , esta estructura puede ser idealizada como una serie de losas-viga conectadas a las columnas por elementos transversales a torsión , como se muestra en la figura 3.3.c. Este marco se reduce a un marco planar, considerando que el elemento torsional (K_t) se distribuye entre las columnas adyacentes, en función de su rigidez relativa a flexión (K_c), como se muestra en la figura 3.3d.

Esta consideración permite calcular rápidamente las propiedades de los elementos K_s , K_c y K_t , dando como resultado el modelo que se muestra en la figura 3.3.e.

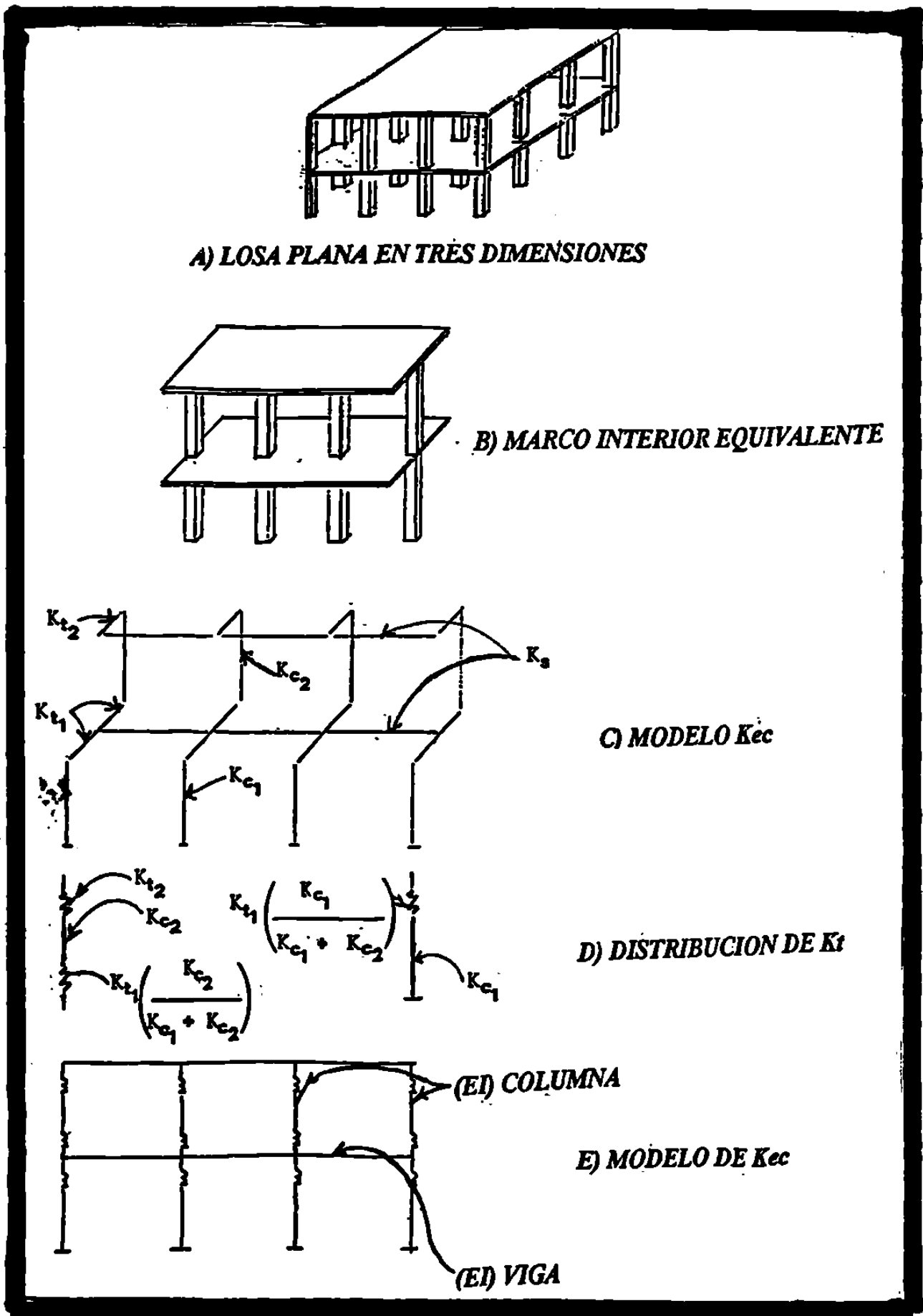


FIGURA 3.3. MODELO DEL MÉTODO DE EXTENSIÓN DEL MARCO EQUIVALENTE POR VANDERBILT, K_{cs} .

Los datos necesarios para cada una de las losa-viga son : Área (A), Longitud (L), Área de Corte (A_v), Módulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia(I_b).

Por otro lado los datos necesarios para cada columna son: Área (A), Altura (H) , Área de Corte (A_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_c). Los datos necesarios para el análisis del elemento torsional son: Ancho (b_w), Espesor (h), Longitud (L) y modulo de elasticidad(E).

3.3.1.1 EFECTO DEL AGRIETAMIENTO:

Los efectos del agrietamiento se pueden considerar en este análisis si :

- 1). **HAY SÓLO CARGAS DE GRAVEDAD:** el agrietamiento no está implícito en el análisis. La reducción de la rigidez de la losa viga no se recomienda debido a que esta reducción incrementa el momento negativo en la cara externa de la columna (Referencia No.4)
- 2). **CUANDO HAY CARGAS LATERALES:** el agrietamiento está considerado implícitamente . El efecto del agrietamiento de toda la estructura es considerado si se reduce la rigidez de la losa-viga por un factor β (0.33 de la rigidez para losas planas)

3.3.2. MODELO DE LA LOSA EQUIVALENTE :

Una losa plana tridimensional sujeta a cargas laterales, se muestra en la figura 3.4.a . Para formar una marco interior se selecciona como recomienda el ACI y éste se muestra en la figura 3.4.b. Se puede considerar esta estructura tridimensional como una serie de columnas, conectadas a la losa, a través de elementos transversales sometidos a torsión, como se muestra en la figura 3.4.c.

Estos marcos se pueden reducir a una marco planar o de dos dimensiones, distribuyendo la rigidez a torsión de los elementos transversales (K_t) entre las losa-viga adyacentes, en proporción a la rigidez a flexión de cada una de ellas(K_s); como se muestra en la figura 3.4.d. Posteriormente, se pueden calcular las propiedades de cada uno de los elementos de este marco K_s , K_c y K_t , para después hacer el análisis del modelo que se muestra en la figura 3.4.e.

Los datos necesarios para cada una de las losa-viga son : Área (A), Longitud (L), Área de Corte (A_v), Modulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia(I_b).

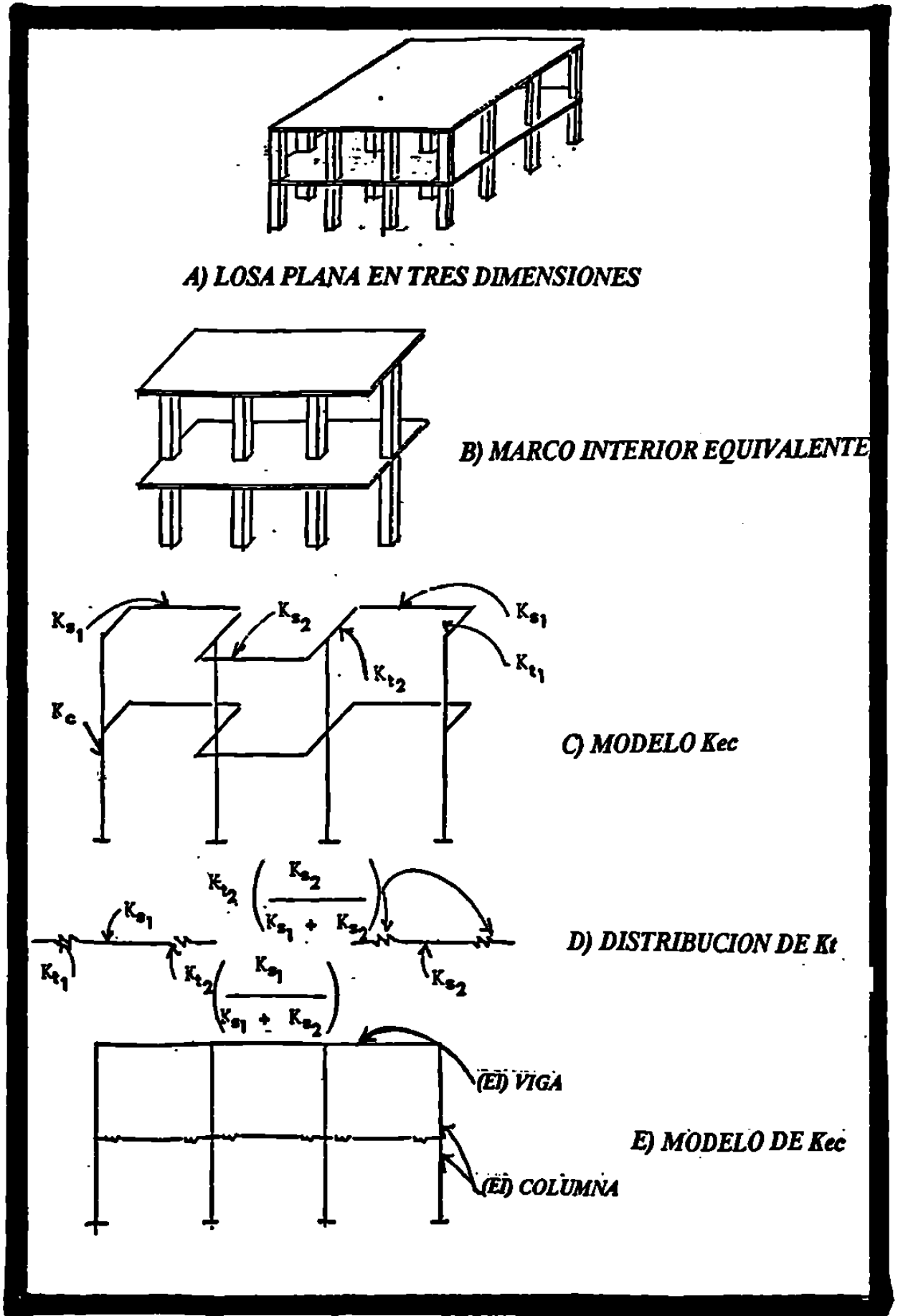


FIGURA 3.4. MODELO DEL MÉTODO DE EXTENSIÓN DEL MARCO EQUIVALENTE POR VANDERBILT, Kes.

Por otro lado, los datos necesarios para cada columna son: Área (A), Altura (H) , Área de Corte (A_v), Módulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_c). Los datos necesarios para el análisis del elemento torsional son: Ancho (b_w), Espesor (h), Longitud (L) y módulo de elasticidad(E).

3.3.2.1. EFECTOS DEL AGRIETAMIENTO.

Como se recomienda por el autor de este tema, Vanderbilt, las propiedades de la losa-viga y de la columna deben estar basadas en lo siguiente:

- 1). **HAY SÓLO CARGAS DE GRAVEDAD:** El modelo de losa equivalente refleja la flexibilidad torsional de la losa; pero no presenta transporte de momento. Como se comentó en el capítulo 2, este modelo no representa la realidad de los momentos de la losa en las columnas interiores. Por lo tanto este modelo no se recomienda para el análisis de losas sujetas a cargas de gravedad (Referencia No.4)
- 2). **CUANDO HAY CARGAS LATERALES:** Al igual que el método recomendado por el ACI, el agrietamiento está considerado implícitamente en el análisis si la rigidez de la losa-viga y es reducido por el factor β , considerando la rigidez de la losa-viga igual al 33% de la rigidez de la losa-viga en losas planas sin agrietamiento.

Por otro lado, los datos necesarios para cada columna son: Área (A), Altura (H), Área de Corte (A_v), Módulo de Elasticidad (E) y Momento de Inercia (I_c). Los datos necesarios para el análisis del elemento torsional son: Ancho (b_w), Espesor (h), Longitud (L) y módulo de elasticidad (E).

3.3.2.1. EFECTOS DEL AGRIETAMIENTO.

Como se recomienda por el autor de este tema, Vanderbilt, las propiedades de la losa-viga y de la columna deben estar basadas en lo siguiente:

- 1). **HAY SÓLO CARGAS DE GRAVEDAD:** El modelo de losa equivalente refleja la flexibilidad torsional de la losa; pero no presenta transporte de momento. Como se comentó en el capítulo 2, este modelo no representa la realidad de los momentos de la losa en las columnas interiores. Por lo tanto este modelo no se recomienda para el análisis de losas sujetas a cargas de gravedad (Referencia No.4)
- 2). **CUANDO HAY CARGAS LATERALES:** Al igual que el método recomendado por el ACI, el agrietamiento está considerado implícitamente en el análisis si la rigidez de la losa-viga es reducido por el factor β , considerando la rigidez de la losa-viga igual al 33% de la rigidez de la losa-viga en losas planas sin agrietamiento.

Para usar el Método de la Extensión Marco Equivalente, en losas en dos direcciones, es necesario hacer dos análisis por separado: uno que considere las cargas de gravedad (K_{ec} sin considerar efectos de agrietamiento) y otro para el efecto de cargas laterales (K_{ec} o K_{es} considerando los efectos del agrietamiento Referencia No.3.)

CAPITULO No.4

4.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Cada método será analizado con la interpretación hecha de un marco planar, de acuerdo con las consideraciones hechas en los capítulos anteriores. Debido a lo complicado que resultaría hacer el escrito del cálculo de cada uno de los niveles del edificio seleccionado , se generará el análisis de un entrepiso completo y después sólo se presentarán en forma de tablas los resultados obtenidos en los demás pisos..

Cada marco está limitado por el centro del claro entre columnas. Las cargas laterales se aplican a cada nivel y actúan en toda la estructura. Los marcos están conectados por un diafragma rígido plano, que es la losa del entrepiso.

Para el análisis de la losa los siguientes datos son usados:

- 1) **CARGAS LATERALES** : Se aplicará una carga de 50 kg.en la dirección transversal del marco.

-
- 2) **MÓDULO DE ELASTICIDAD:** El método de la secante de la gráfica esfuerzo-deformación se usa para el cálculo de este parámetro a través de la ecuación:

$$E_c = 15,100 \sqrt{f'_c}$$

- 4) **EFFECTOS DEL AGRIETAMIENTO:** se tomará en cuenta, siguiendo las recomendaciones hechas por el autor de cada método, mencionadas en el capítulo anterior.

CAPITULO 5.

CÁLCULO NUMÉRICO.

Como se comentó en el capítulo 4 , el modelo seleccionado se estudiara para un edificio con losa plana de dos plantas .

5.1. LOSA PLANA EN UN EDIFICIO DE DOS NIVELES.

Como se muestra en la figura 5.1.a. y 5.1.b., se analizará un edificio de 6m por 6m. como planta y con altura de 3.65m; se usarán columnas de 60cm * 60cm. El espesor de la losa se tomará de 20 cm, de acuerdo con las recomendaciones hechas por el ACI 318/95 para el control de deflexiones y para soportar el cortante que se genera por una carga muerta del peso propio de la losa y una carga viva de 250 kg./m²

Un marco equivalente interior se observa en la figura 5.1.b. y éste será analizado con los siguientes métodos:

- 1.- Método del ancho efectivo.**
- 2.- Método del Marco Equivalente propuesto por ACI 318/95**

3.- Extensión al método del Marco Equivalente por Vanderbilt.

Los marcos serán analizados para cargas de gravedad así como para cargas laterales de viento, con una intensidad de 68kg/m^2 como se especifica por el código de la COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, para MONTERREY, N L.

La presión del aire se asume uniformemente distribuida en los marcos, a través de su ancho tributario. Entonces para el nivel 1 la carga se calcula por :

$$68\text{kg/m}^2 * 6\text{m} * 3.65\text{m} = 1500 \text{ kg.}$$

para el nivel 2

$$68\text{kg/m}^2 * .6\text{m} * 1.83\text{m} = 750 \text{ kg}$$

Como se discutió anteriormente, un marco sujeto a cargas laterales y cargas de gravedad se puede analizar por cualquiera de los dos siguientes maneras.

- 1.- Procedimiento de dos modelos. analizar un modelo para cargas laterales y otro modelo para cargas gravitacionales. La solución del marco será la suma de ambos.
- 2.- Procedimiento de un marco: un análisis de un solo marco se puede desarrollar; sólo que en este caso, se deben incluir simultáneamente los efectos del agrietamiento.

Los efectos del agrietamiento se pueden visualizar en la siguiente tabla.

MÉTODO	CARGA LATERAL	CARGA DE GRAVEDAD.	COMB .DE CARGAS
ANCHO EFECTIVO	SI $l'b = 0.44lb$	NO *	SI $l'b = 0.44lb$
ACI 318/95	SI $l'b = 0.33lb$	SI $l'b = lb$	NO
VANDERBILT	SI $l'b = 0.33lb$	SI $l'b = lb$	SI $l'b = lb$
* este método no se recomienda para el análisis de cargas de gravedad.			

TABLA 5.1. RESUMEN DE SUGERENCIAS PARA EL USO DE DIVERSOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

5.1.1 MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO:

A

La relación ($c1/\ell1$) es lo primero que calcularemos para nuestro caso:

a) del punto a : $c1/\ell1 = 60/600 = 0.1$

$$\text{la relación } \ell2 / \ell1 = 600/600 = 1.00$$

de la figura 5.a., el ancho efectivo, con los valores anteriores, obtenemos que $\alpha = 0.44$; por lo tanto, el ancho efectivo para el análisis es de $0.44 * (600) = 264 \text{ cm.}$

El modelo tridimensional de la figura 5.1.a., se reduce al marco planar, o en dos dimensiones, que se muestra en la figura 5.2.b., donde las propiedades de los elementos se calculan tradicionalmente, como se muestra en el anexo C. Los resultados de los dos tipos de cargas se discutirán después, de acuerdo con la tabla 5.1.

5.1.2 MÉTODO DEL MARCO EQUIVALENTE DEL ACI.

Las propiedades de los elementos necesarios para el análisis de este método se encuentran descritos en el anexo A de este trabajo; aquí sólo mencionaremos que :

$$\ell_1 = \ell_2 = 600 \text{ cm.}$$

$$c_1 = c_2 = 60 \text{ cm.}$$

5.1.3 EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MARCO EQUIVALENTE POR VANDERBILT

Las propiedades de los elementos necesarios para el análisis de este método se encuentran descritos en el anexo A de este trabajo; aquí sólo mencionaremos que :

$$\ell_1 = \ell_2 = 600 \text{ cm.}$$

$$c_1 = c_2 = 60 \text{ cm.}$$

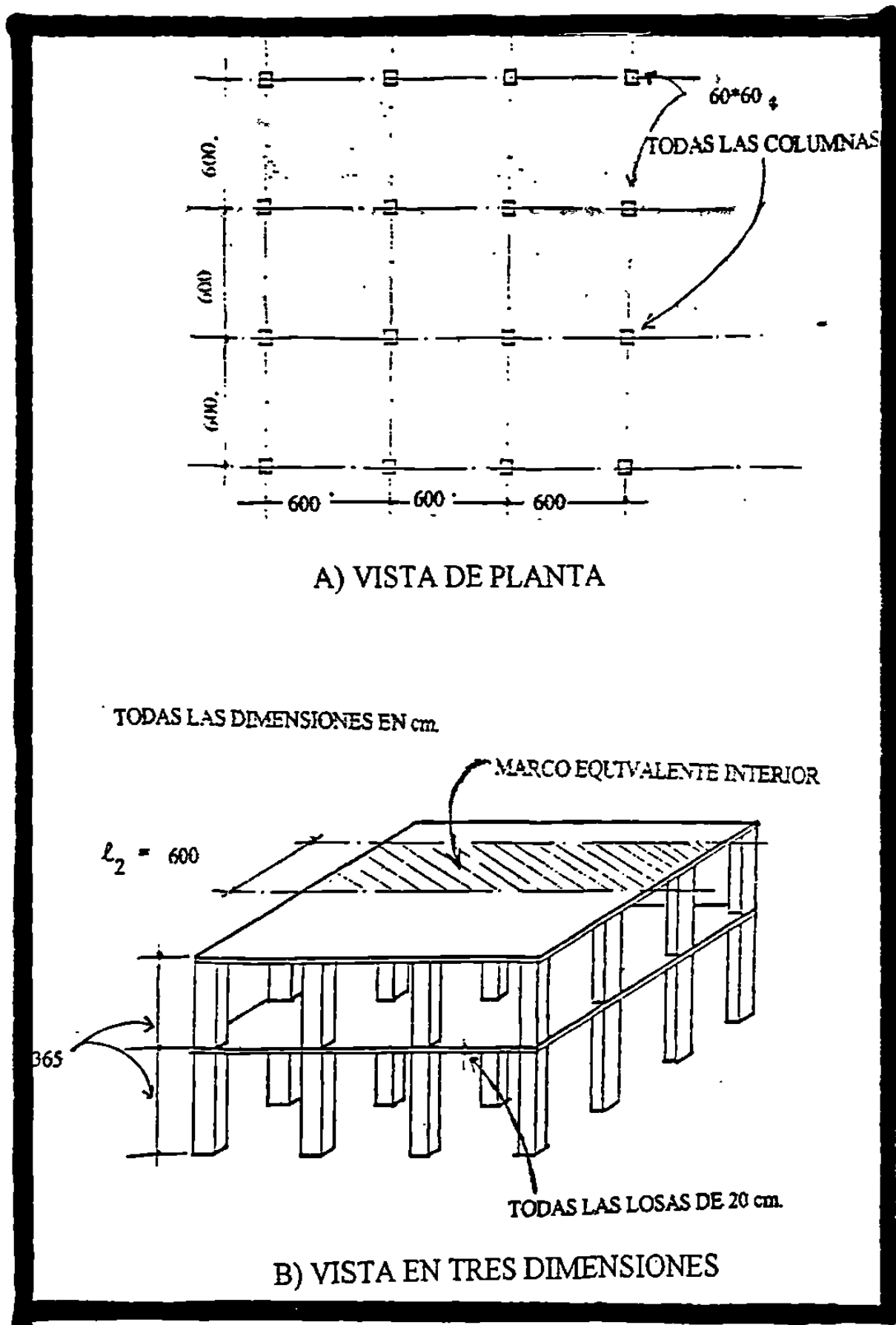


FIGURA 5.1. EDIFICIO EN ESTUDIO.

5.3. SUMARIO DE LAS RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LOSAS .

Los métodos aquí planteados demuestran que las losas planas se pueden modelar por cualquiera de los dos siguientes procedimientos:

1) PROCEDIMIENTO DE DOS MODELOS:

Este modelo permite usar dos modelos por separado , uno para cargas gravitacionales y otro para cargas laterales , en el primero (cargas gravitacionales) se puede despreciar el efecto del agrietamiento, pero en el segundo (cargas laterales) se debe disminuir principalmente la rigidez a la torsión del elemento sujeto a este esfuerzo, ya que es el que principalmente se agrietará de acuerdo con la investigación de KAN.

2) PROCEDIMIENTO DE UN SOLO MODELO.

En éste se juntan el análisis de cargas gravitacionales y cargas laterales y, al igual que en el anterior, el efecto más importantes es la disminución por agrietamiento del elemento sometido a torsión.

Para obtener el análisis total de cargas combinadas se pueden usar cualquiera de los dos modelos; el procedimiento de un solo modelo se recomienda por simple. Los valores

recomendados para el cálculo de la inercia se muestran en la tabla 5.2. , El valor de "B" lo llamaremos "factor de reducción" de la rigidez de la losa-viga" y es valido sólo para losas planas.

MIEMBRO	RIGIDEZ PARA LOSA PLANA
LOSA VIGA	$I'_{sb} = B \cdot I_{sb}$
COLUMNA	I_c
MIEMBRO TORSIONAL	$K'_t = 0.33K_t$
* SE RECOMIENDA UTILIZAR UN VALOR DE $B=0.33$	

TABLA 5.2.. RIGIDECES RECOMENDADAS PARA LOS ELEMENTOS DE LOS MÉTODOS PARA CARGAS COMBINADAS.

CAPÍTULO No.6

RESUMEN Y CONCLUSIÓN

Este reporte está basado en la comparación de dos teorías, para el análisis de losas apoyadas en dos direcciones

- a) Métodos que están basados en un ancho efectivo.
- b) Métodos que están basados en elementos sometidos a torsión.

6.1. RESUMEN DEL MÉTODO BASADOS EN UN ANCHO EFECTIVO.

El método del ancho efectivo está basado en un análisis elástico y es ejemplificado por el procedimiento descrito por KAN y SBANOURIS(1964) en el método del ancho efectivo, el cual se explica en la sección 2.1.1.

Este método del ancho efectivo es bastante atractivo para el calculista, pues al encontrar el factor de reducción para el ancho, el procedimiento para el análisis ya transformado es tradicional. Este método se puede usar si se logra cuantificar el factor " α ", para reducir la rigidez de la losa-viga debida al agrietamiento. Sin embargo; como se puede observar en la sección 5.1.1., el método

no es recomendable para casos de carga combinada (es decir carga lateral más carga por gravedad).

En cuanto a resultados, este método arrojó momentos mayores para el apoyo exterior que el método del ACI. Esto se debe a que este método considera un marco de ancho αb y su inercia se calcula convencionalmente; por lo cual, el transporte del momento originado por la carga lateral es mayor .

Si este método se utiliza para el análisis de losas bajo acción de cargas de gravedad, los resultados que se obtendrán serán, sobre todo, para un momento negativo, sobrestimado. Por otro lado para momento positivo será subestimado por lo cual si se analiza la losa por este método y se diseña , ella podrá presentar grandes deflecciones y presencia de grietas excesivas.

6.2. RESUMEN DE LOS MÉTODOS QUE INVOLUCRAN ELEMENTOS TORSIONALES.

Los modelos que se estudiaron en este reporte son :

- a) El Método del Marco Equivalente del A.C.I.

- b) La Extensión del Marco Equivalente por Vanderbilt.

Como se discutió en la sección 2.2.1. y en el anexo A, el método de Marco Equivalente del A.C.I. fue desarrollado y verificado experimentalmente para estructuras simples, bajo cargas de gravedad. Como se muestra en la sección 3.2. este método no es fácilmente usado para edificios de varios pisos, por los diferentes valores de sus factores por pisos. Este factor motivó a Vanderbilt para desarrollar la extensión al método propuesto por el ACI.

Se analizaron dos modelos en esta tesis :

A) EL MODELO DE LA COLUMNA EQUIVALENTE

B) EL MODELO DE LA LOSA EQUIVALENTE.

Estos modelos difieren con respecto al comportamiento que pueden reproducir, de acuerdo con el tipo de carga. El modelo de la columna equivalente (K_{ec}) duplica el transporte de los momentos y la flexibilidad a la torsión de la losa bajo cargas de gravedad., en cambio, el modelo de la losa equivalente (K_{es}) duplica la flexibilidad a la torsión de la losa bajo cargas laterales.

Ambos modelos asumen que la rigidez a la torsión (K_t) es distribuida hacia los elementos adyacentes a flexión, en forma proporcional a la rigidez relativa de estos elementos.

Como se muestra en la sección 5.1. y 5.2., los modelos anteriores se compararon entre sí con un ejemplo práctico. El modelo de la losa equivalente (K_{es}) no se recomienda para cargas de gravedad; en cambio, el modelo de columna equivalente (K_{ec}) es altamente recomendado para el análisis de cargas de gravedad, cuando la rigidez de la losa se reduce por los efectos del agrietamiento.

En cuanto a resultados para cargas de gravedad, el Método de Marco Equivalente del ACI arrojó valores más conservadores (mayores) que el Método de la Extensión del Método de Marco Equivalente por Vanderbilt; sobre todo en el primer apoyo, esto es debido a que el segundo método sólo toma un elemento torsional y no lo duplica, como el Método del ACI. Esto se aclaró en los capítulos anteriores.(Referencia 21.)

Para cargas laterales, el Método de la Extensión del Método de Marco Equivalente por Vanderbilt arrojó momentos mayores que el Método de Marco Equivalente del ACI; esto se debe a que la disminución por agrietamiento del Método del ACI es más significativa en la rigidez del elemento losa-viga, que la presencia de uniones semi-rígidas en el Método de Extensión al Marco Equivalente de Vanderbilt.

6.3. CONCLUSIÓN GENERAL

Como se podrá observar en los cálculos, el método mas atractivo para el análisis de losas bajo la acción de cargas de gravedad es el del método del MARCO EQUIVALENTE DEL A.C.I. por ser el método mas difundido en el entorno ESTRUCTURAL, pero el método que mas se aproxima al comportamiento real es el recomendado por Vanderbilt ya que los momentos que se encontraron son mas parecidos a los reales obtenidos por un programa computacional tridimensional.(Referencia 21) , sin embargo con los avances de la tecnología computacional no es muy difícil ejecutar el modelo de Vanderbilt y esto ocasionaría diseños mas económicos y mas apegados a la realidad.

La diferencia entre los momentos obtenidos por las dos teorías se muestran en la siguiente tabla:

TIPO DE MOMENTO	MAGNITUD DEL MOMENTO POR EL MÉTODO DE ACI 318/95 (T-M)	MAGNITUD DEL MOMENTO POR EL MÉTODO DE VANDERBILT (T-M).
MOMENTO NEG. EXTERIOR	12.71	9.44
MOMENTO NEG. INTERIOR	22.88	21.85
MOMENTO POSITIVO	7.2	6.9

Para cargas laterales el modelo del ancho efectivo es el mas antiguo y por consiguiente su utilización no es adecuado pues los resultados obtenidos se separan mucho de la realidad esto debido a la nula contribución del elemento torsional bajo este sistema de carga.

Los modelos del ACI - 318/95 son aceptables pero la disminución debida al agrietamiento de la inercia de la losa no es suficiente y esto lo aparta del marco real, en cambio el modelo propuesto por Vanderbilt es bastante exacto y esto se puede observar con la siguiente tabla:

TIPO DE MOMENTO	MAGNITUD DEL MOM. POR EL MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO (T-m)	MAGNITUD DEL MOMENTO POR EL MÉTODO DEL ACI 318/95 (T-m)	MAGNITUD DEL MOMENTO POR EL MÉTODO DE VANDERBILT (T-m)
MOMENTO NEG. EXTERIOR	1.68	1.42	1.33
MOMENTO NEGATIVO INTERIOR	0.84	0.53	0.48
MOMENTO POSITIVO.	0.12	0.35	0.32

En cuanto a las rigidez calculada para cada elemento por cada uno de los métodos la siguiente tabla muestra la diferencia entre estos:

MÉTODO UTILIZADO	RIGIDEZ DE LA LOSA Kg-cm	RIGIDEZ DE LA COLUMNA Kg-cm	RIGIDEZ DEL ELEMENTO EQUIVALENTE Kg-cm
ANCHO EFECTIVO	$3.10 \cdot 10^8$	$3.59 \cdot 10^9$	NO.
ACI 318/95 Kec	$7.05 \cdot 10^8$	$3.59 \cdot 10^9$	$1.11 \cdot 10^9$
ACI 318/95 CARGA LATERAL	$2.33 \cdot 10^8$	$3.59 \cdot 10^9$	$1.11 \cdot 10^9$
VANDERBILT Kec	$6.75 \cdot 10^8$	$2.99 \cdot 10^8$	$2.87 \cdot 10^8$
VANDERBILT Kes	$2.23 \cdot 10^8$	$2.99 \cdot 10^9$	$1.21 \cdot 10^9$