ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.

LOSAS BIDIRECCIONALES CON VIGAS, OTRA ALTERNATIVA DE CÁLCULO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

JUAN CARLOS CÓRDOVA MONTAÑO
CÉSAR EDUARDO AGUILERA VARGAS

SANGOLQUI, AGOSTO DEL 2007

EXTRACTO / ABSTRACT

El presente trabajo es una alternativa para el diseño de losas bidireccionales con vigas, considerando en el análisis cargas sísmicas.
Estas losas actualmente y de acuerdo a las teorías estandarizadas de diseño generalmente se diseñan para carga vertical.

Se plantea en este trabajo un propuesta diferente a través de la aplicación de formulas sencillas que determinan porcentajes de distribución de los momentos últimos de diseño (incluido sismo) desde la viga hacia la losa.

Por medio de los resultados obtenidos, se ha podido probar la validez de esta propuesta, comparando con la teoría del Pórtico Equivalente descrita en el ACI y el CEC2001, y con el programa estructural de diseño ETABS V9.0, consiguiendo resultados satisfactorios que hacen de esta alternativa un nuevo método de diseño de Losas Bidireccionales con Vigas.

The present project is an alternative solution for the bidirectional concrete slabs desing with beams taking in mind the seismic loads analysis.

Under the ongoing Design Standard Theory this slabs are made only for the vertical loads.

This proposal has been made with a new approach using elementary formulas that give the distribution's percents of the last process in the design (the seismic loads are included) from the beam to the slabs.

Through the results we could demonstrate that this proposal is valid and after making comparison with the Portico Equivalent Theory which is described in the ACI and in the CEC2001, also with the Structural Design Program ETABS V9.0; we have produce satisfactory results which make that this alternative solution could became a new designing method for the Bidirectional Slabs with beams.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los señores: **CÓRDOVA MONTAÑO JUAN CARLOS y AGUILERA VARGAS CÉSAR EDUARDO** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL.**

Sangolquí, Agosto del 2007

Ing. Ernesto Pro.	**Ing. Jorge Zúñiga Gallegos.**
DIRECTOR	**CODIRECTOR**

DEDICATORIA

A mis padres, ***Tobías y Margarita***, por su amor, entrega y sacrificio, no solo para la culminación de mi carrera sino en todos los momentos de mi vida…….

A mis hermanos, ***Zoila, Fredy, Mariana y Daniel***, por su constante apoyo a lo largo de este camino.....

A mi esposa, ***Erika Marianela***, por apoyarme siempre en los momentos difíciles, por compartir conmigo el día a día, por soportar mi carácter, por estar a mi lado, por el amor que me brindas……. ***Te Amo***

A mi hija, ***Camila Alejandra***, el más hermoso regalo de la vida…….

A toda ***mi familia***, por estar ahí siempre en cada momento de mi vida…….

Al más especial de todos, *a ti* ***Señor Dios mío***, porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con que me rodeas y porque me tienes en tus manos, todo esto es para ti…….

Juan Carlos Córdova Montaño.

AGRADECIMIENTO

A la ***Escuela Politécnica del Ejército***, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en sus aulas y por todos amigos que he hecho este centro de estudios.

Papi, este es un logro que quiero compartir contigo, gracias por ser mi papá y gracias por confiar en mi, quiero que sepas que ocupas un lugar especial y que eres el mejor de todos los padres……. Don Tobías lo quiero mucho

Mami, no me equivoco en decir que eres la mejor mamá del mundo, gracias por todo el esfuerzo, el apoyo y la confianza que entregaste en mi. Gracias porque siempre has estado a mi lado. Te quiero mucho.

A mis hermanos, ¿adivinen que?, ya soy Ingeniero Civil, lo logre!! … gracias por todo, son los mejores grandes hermanos que un hermano como yo puede tener.

Erika, creo que no puede haber mejor esposa que tu, gracias por compartir juntos este gran amor, gracias por tu apoyo incondicional para enfrentar todos los retos, gracias por toda la felicidad que me brindas y que compartimos con nuestra hija.

Camila Alejandra, aunque todavía no puedes leer, un día vas a aprender, y vas a tener que lee esto, gracias por alegrarme con tus ocurrencias, gracias por tu sonrisa, por tu amor y sobre todo disculpa todo el mal humor durante la realización de este trabajo, te amo hija mía y siempre quiero verte feliz.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre aunque sea para dar lata y molestar. Solo puede decir que son los mejores amigos del mundo.

A todos los profesores, no solo de la carrera sino de toda la vida, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy. Especialmente al **Ing. Ernesto Pro, Ing. Jorge Zúñiga, Ing. Pablo Gómez**, por su aporte en la realización de esta tesis……

Juan Carlos Córdova Montaño

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **Norma** y **Eduardo**, mis padres, quienes con amor y abnegación, me han impulsado en la consecución de mis metas.

A mi Director y Codirector de Tesis; de manera especial al **Ingeniero Jorge Zúñiga,** en quien siempre encontré más que al profesor, un amigo que con su ejemplo ha motivado mi vida futura como profesional.

A **Pablo**, mi hermano que con su apoyo incondicional me ha impulsado para llegar a mi meta.

A mis pequeñas **Fernandita** y **Andreita** que con su inocencia y alegría siempre me estuvieron alentando para seguir adelante.

A **Mario** y **Maritza,** mis tíos, que siempre confiaron en mí y nunca dejaron que me dé por vencido.

César Eduardo Aguilera Vargas

AGRADECIMIENTO

El mundo es de aquellos que perciben la vida como una maratón y no como una carrera de 100 metros lisos.

Lair Ribeiro

Gratitud, mágica palabra que compendia mis sentimientos para todas aquellas personas que con dedicación e inteligencia me han conducido a la meta, ser Ingeniero Civil.

A mis padres ya que sin su apoyo no hubiera podido conseguir nada en mi vida, son los mejores padres del universo, los quiero mucho.

Al Ingeniero Jorge Zúñiga, más que un profesor, un amigo.

Al Ingeniero Ernesto Pro, pues su colaboración y asesoría ha posibilitado la realización de este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros que a lo largo de nuestra vida universitaria siempre me demostraron su aprecio y cariño, pero en especial a mi mejor amiga Sofía Herrería, siempre estuvo presente en los buenos y malos momentos, gracias querida amiga.

César Eduardo Aguilera Vargas

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES 2
1.2 AREA DE INFLUENCIA 3
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO 3
1.3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS 3
1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN 3
1.5 ALCANCE 4
1.6 ANALISIS DE LOSAS EN DOS DIRECCIONES 5

CAPITULO II

PREDIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE 20 ESTRUCTURAS (CARGA MUERTA+CARGA VIVA+SISMO) POR MÉTODO MATRICIAL Y POR EL METODO DEL PÓRTICO EQUIVALENTE

2.1 IMPORTANCIA DEL PREDIEMENSIONAMIENTO 7
2.2 PREDIEMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS 7
2.2.1 ESTRUCTURAS CON VIGAS DESCOLGADAS 8
2.2.1.1 ANALISIS DE CARGA 10
2.2.1.2 CORTANTE BASAL DE DISEÑO 12
2.2.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS 14
2.2.1.4 PREDIEMSIONAMIENTO DE VIGAS 14
2.2.2 ESTRUCTURAS CON VIGAS BANDAS 16
2.3 DETERMINACION DE ESFUERZOS DEBIDODOS A CARGA MUERTA, CARGA VIVA, Y SISMO POR MÉTODO MATRICIAL 18
2.4 MÉTODO DEL PÓRTICO EQUIVALENTE 21
2.4.1 CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO 23
2.4.2 PASOS PARA APLICAR EL MÉTODO 25

CAPITULO III

MODELO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON ETABS V9.0.

3.1 INTRODUCCION A ETABS V9.0 30
3.2 DESCRIPCION DE LA GEOMETRIA PARA EL ANALISIS 31
3.3 MODELAJE DE LA ESTRUCTURA 32
3.3.1 DEFINICION DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA 35
3.3.2 DEFINICION DE LAS SECCIONES DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA 36
3.3.3 ASIGNACION DE LAS SECCIONES DE LOS ELEMENTOS 41
3.3.4 ASIGNACION DE LOS APOYOS 47
3.3.5 ESTADOS DE CARGA 48
3.3.6 PERFECCIONAMIENTO DE LA MODELACION 50

3.4 CORRIDA Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA 53
3.4.1 VISUALIZACION DE LOS RESULTADOS 54
3.4.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES 57

CAPITULO IV

MÉTODO ALTERNATIVO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LOSAS BIDIRECCIONALES CON VIGAS.

4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE CALCULOS Y DISEÑOS 59
4.2 DISTRIBUCION DE MOMENTOS POR EL MÉTODO PROPUESTO 60
4.2.1 LOSAS CON VIGAS DESCOLGADAS 60
4.2.2 LOSAS CON VIGAS BANDAS 61
4.3 DEPURACION DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA 62

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65
5.1 CONCLUSIONES 65
5.2 RECOMENDACIONES 68

BIBLIOGRAFIA 69

ANEXOS 70

ANEXO A.- MOMENTOS DE DISEÑO 71
ANEXO B.- TABLAS DE DISTRIBUCION PORTICO EQUIVALENTE 102
ANEXO C.- RESULTADOS PORTICO EQUIVALENTE 112
ANEXO D.- RESULTADOS ETABS V9.0 150
ANEXO E.- RESULTADOS ALTERNATIVA PROPUESTA 188

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO II

PREDIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE 20 ESTRUCTURAS (CARGA MUERTA+CARGA VIVA+SISMO) POR MÉTODO MATRICIAL Y POR EL METODO DEL PÓRTICO EQUIVALENTE

Tabla 2.1 Valores Obtenidos de T 13
Tabla 2.2 Valores usados para obtener el cortante basal 13
Tabla 2.3 Dimensiones de Estructuras sin Volados con Vigas Descolgadas 16
Tabla 2.4 Dimensiones de Estructuras con Volados con Vigas Descolgadas 16
Tabla 2.5 Dimensiones de Estructuras sin Volados con Vigas Bandas 17
Tabla 2.6 Dimensiones de Estructuras con Volados con Vigas Bandas 17
Tabla 2.7 Porcentaje de los momentos totales en franja de columnas 28
Tabla 2.8 Porcentaje de momentos entre vigas y losas en franja de columnas 28

CAPITULO IV

MÉTODO ALTERNATIVO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LOSAS BIDIRECCIONALES CON VIGAS.

Tabla 4.1 Relación de alturas entre viga y losa 61
Tabla 4.2 Porcentajes de distribución para losas con vigas banda 62
Tabla 4.3 Porcentajes de distribución actuante en pórticos exteriores con vigas descolgadas (promedio de todas las estructuras) 62
Tabla 4.4 Porcentaje de distribución actuante en pórticos interiores con vigas descolgadas (promedio de todas las estructuras) 63
Tabla 4.5 Porcentajes de distribución actuante en pórticos con vigas bandas (Promedio de todas las estructuras) 63

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tabla 5.1 Relación de alturas entre viga y losa 66
Tabla 5.2 Porcentajes de distribución para “losa con vigas banda” 66

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO I

INTRODUCCION

Figura 1.1 Flexión en losas bidireccionales 5

CAPITULO II

PREDIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE 20 ESTRUCTURAS (CARGA MUERTA+CARGA VIVA+SISMO) POR MÉTODO MATRICIAL Y POR EL METODO DEL PÓRTICO EQUIVALENTE

Figura 2.0 Vista en planta y elevación de la estructura 8
Figura 2.1 Corte típico de losa Alivianada e=20cm 9
Figura 2.2 Viga T 10
Figura 2.3 Sección de Viga Banda 17
Figura 2.4 Numeración de nudos y elementos del pórtico 18
Figura 2.5 Solicitaciones de carga el los pórticos y sistema de coordenadas 19
Figura 2.6 Sistema de Pórticos Bidimensionales 21
Figura 2.7 Elementos que constituyen el Pórtico Equivalente 22
Figura 2.8 Franjas de Diseño del Pórtico Equivalente 24
Figura 2.9 Columna Modificada Equivalente 25

CAPITULO III

3. MODELO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON ETABS V9.0

Figura 3.1 Ejemplo de un modelo 31
Figura 3.2 Formulario para iniciar nuevo modelo 32
Figura 3.3 Formulario para plantear la grilla 33
Figura 3.4 Grilla de la estructura planteada 34
Figura 3.5 Formulario para correcciones en la grilla 34
Figura 3.6 Formulario para definición del material 35
Figura 3.7 Formulario de propiedades del material 36
Figura 3.8 Propiedades de las secciones 36
Figura 3.9 Modificación de elementos rectangulares 37
Figura 3.10 Factores de modificación de propiedades en elementos rectangulares 38
Figura 3.11 Datos del refuerzo 38
Figura 3.12 Secciones definidas en la estructura 39
Figura 3.13 Formulario para definir el elemento losa 40
Figura 3.14 Propiedades del elemento losa 40
Figura 3.15 Formulario para escoger el elemento columna 41
Figura 3.16 Colocación de columnas en la estructura 42
Figura 3.17 Formulario para escoger el elemento viga 42
Figura 3.18 Colocación de Vigas en la estructura 43

Figura 3.19 Formulario para escoger los elementos nervios 43
Figura 3.20 Columnas y nervios en la losa 44
Figura 3.21 Formulario para escoger el elemento losa 44
Figura 3.22 Primer Piso de la estructura 45
Figura 3.23 Formulario para replicar secciones 45
Figura 3.24 Vista tridimensional de la estructura 46
Figura 3.25 Asignación del diafragma rígido al piso 47
Figura 3.26 Restricciones en los apoyos 47
Figura 3.27 Estados de carga de la estructura 48
Figura 3.28 Menú para definir coeficientes sísmicos 49
Figura 3.29 Menú de combinaciones de carga 49
Figura 3.30 Menú de asignación de cargas 50
Figura 3.31 Definición de la masa en la carga 51
Figura 3.32 Formulario para liberar la estructura 52
Figura 3.33 Distancia de resultados al eje 52
Figura 3.34 Estructura deformada luego de la corregida 53
Figura 3.35 Menú para escoger el diagrama de resultados 54
Figura 3.36 Diagrama de momentos en la estructura 55
Figura 3.37 Iconos de movimiento en las plantas 55
Figura 3.38 Resultados vistos en pórticos 56
Figura 3.39 Detalle de resultados en los elementos 56
Figura 3.40 Estructura en etapa de diseño 57
Figura 3.41 Información adicional de los elementos 58

CAPITULO IV

MÉTODO ALTERNATIVO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LOSAS BIDIRECCIONALES CON VIGAS.

Figura 4.1 Sección losa – viga descolgada 60

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

Las estructuras de edificios de concreto están formadas por diversos elementos que generalmente trabajan como un conjunto, son continuas y monolíticas. Uno de los sistemas estructurales más usuales es el constituido por losas con vigas y columnas. En ocasiones el sistema está conformado únicamente por losas y columnas, aspecto que no es parte de este estudio.

Usualmente las estructuras se han analizado por carga vertical, suponiendo que estas cargas se transmiten a través de la losa a las vigas y de éstas a las columnas; las fuerzas horizontales como las sísmicas o de viento, en teoría son resistidas por los pórticos de la estructura. En la realidad, los tres elementos, losas, vigas y columnas actúan en conjunto, resistiendo tanto cargas verticales como horizontales.

Por ejemplo, en el caso de fuerzas horizontales la contribución de las losas es importante; no es posible aislar las vigas de las losas ya que ambas resisten conjuntamente la acción de las fuerzas horizontales. Para cargas verticales, se ha demostrado que la distribución de momentos flexionantes en losas depende de la relación de la rigidez entre losas, vigas y columnas, así la distribución de momentos en dos sistemas de piso iguales entre sÍ, es diferente si las columnas de uno de los sistemas son diferentes de las columnas del otro. Esto se debe al distinto grado de restricción en ambos sistemas de piso.

Por otro lado, se considera como sistemas diferentes, a los formados por losas apoyadas sobre vigas ó losas con vigas y a los constituidos por losas apoyadas directamente sobre columnas. Como consecuencia, los métodos de análisis y diseño de ambos sistemas difieren en sus principios. La razón es de origen histórico. Las losas apoyadas sobre columnas se empezaron a construir antes de que se conocieran métodos de análisis, sobre una base experimental. Los métodos que se han usado hasta la fecha son por lo tanto de naturaleza empírica. En cambio las losas apoyadas sobre vigas se empezaron a construir cuando ya se disponían de métodos matemáticos de análisis. Actualmente se

usan modificaciones de dichos métodos que toman en cuenta las características especiales del concreto.

Recientemente se han desarrollado métodos de análisis de estructuras de concreto que consideran por una parte, el trabajo en conjunto de los elementos estructurales, y por otra, el hecho de que los sistemas de piso actúan en la misma forma, cualquiera que sea la rigidez a flexión de las vigas.

1.1 ANTECEDENTES

Cuando se realiza el cálculo y diseño de una estructura de losas con vigas que serán fundidas monolíticamente en situ, en el diseño se debe realizar la repartición de los momentos actuantes tanto negativos como positivos entre la viga y los nervios; esta repartición se la realiza con el método del Pórtico Equivalente como lo indica el Código ACI, por cuanto para sistemas monolíticos o totalmente compuestos, las vigas incluyen porciones de losas como si fueran alas.

La teoría del Pórtico Equivalente considera un análisis elástico para la determinación de momentos, a través de un sinnúmero de suposiciones como la transformación de una estructura tridimensional, en una serie de sistemas bidireccionales, continuos y centrados en los ejes de columnas y extendiéndose tanto longitudinal como transversalmente. Como se nota la obtención de estos parámetros supone cálculos matemáticos complejos y extensos, que hacen de la aplicación de esta teoría algo difícil.

Para evitar este cálculo monótono, existen métodos alternativos para su realización, y es así que cuando se tiene losas planas o sea losas con vigas bandas se puede realizar la repartición de momentos asumiendo que la viga banda es equivalente a un número de nervios; se reparte el momento proporcionalmente al número de nervios, chequeando que en la franja de columnas quede entre el 50 al 60 por ciento de la armadura total positiva y/o negativa. Algo parecido se puede realizar cuando la losa incluye una viga de mayor altura que el espesor de la losa, con una limitación en la altura de la viga, ya que si es demasiada alta en relación a la losa, trabaja el conjunto como una losa sobre vigas, y no como una losa con vigas.

1.2 AREA DE INFLUENCIA

La búsqueda y obtención de métodos alternativos en el diseño de losas bidireccionales sobre vigas, es un área de gran interés entre los profesionales de la Ingeniería Civil, y no solo para ellos, sino a todas las personas que de una u otra forma están involucradas en esta área de trabajo.

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Obtener un nuevo método sencillo y eficaz, para el diseño de losas bidireccionales con vigas.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar momentos en veinte estructuras por métodos manuales y por medio del uso del software Etabs V9.0.
- Repartir los momentos por medio del método del Pórtico Equivalente de los códigos ACI y CEC2001, con la ayuda de la hoja electrónica.
- Recopilar los resultados manuales y computarizados.
- Analizar los datos recopilados.
- Sintetizar los resultados obtenidos.
- Comprobar la teoría de distribución propuesta.
- Conclusiones y recomendaciones del proyecto.

1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN.

Considerando que la placa de hormigón armado se utiliza en el entrepiso de las estructuras, constituye uno de los elementos importantes de la edificación, puesto que si se encontraría alguna falla, provocaría fisuras por contracción y agrietamientos por flexión. Esto llevaría a que el reforzamiento de tensión de las vigas y las losas esté bien distribuido en las zonas de máxima tensión del concreto, lo que nos lleva a proponer que, en el diseño se trabaje simultáneamente las vigas y los nervios de la losa, de la misma manera como se procede en el momento de la ejecución o construcción de la obra,

distribuyendo porcentajes de momentos de diseño en cada uno de estos elementos para que la armadura sea la correcta o la más cercana a la realidad. Además, este estudio pretende facilitar y agilitar el diseño de losas bidireccionales sobre vigas, ya que con el uso del método del Pórtico Equivalente del ACI, se convierte en un sistema aporticado tridimensional con losas en dos direcciones en una serie de pórticos bidimensionales; el ancho de cada pórtico equivalente se extiende hasta la mitad de la luz entre los centros de las columnas, lo que hace de esto un proceso largo, repetitivo y tedioso.

La alternativa que se propone, pretende demostrar que el proceso antes descrito se puede simplificar, facilitando así, el diseño de losas, pues se propone un proceso corto y abreviado, obteniéndose beneficio en el tiempo que se emplea en el cálculo de los elementos estructurales que intervienen.

1.5 ALCANCE

La determinación de un método alternativo para el diseño de losas bidireccionales con vigas es algo complejo, ya que se debe cumplir a satisfacción las hipótesis de diseño que han sido comprobadas a través de métodos precisos.

En esta alternativa de cálculo, se pretende de manera sencilla determinar los porcentajes de distribución de momentos de la viga a la losa, a través de los nervios que la conforman, partiendo de la geometría de la viga que se analiza. Es por esto la importancia de un buen predimensionamiento de las secciones de viga.

El desarrollo de programas computacionales de análisis y diseño estructural como el Etabs V9.0, y el aporte de teorías probadas como el Pórtico Equivalente propuesta en el ACI y CEC2001, le darán las pautas a esta investigación para afinar las fórmulas y porcentajes de distribución que se proponen para el estudio y diseño de losas bidireccionales con vigas.

Los factores de corrección obtenidos en esta propuesta servirán no solo para satisfacer requerimientos en el diseño de los elementos estructurales ya

mencionados, sino que permitirán su uso de manera rápida y sencilla para solucionar problemas en obra.

Las consideraciones de diseño de esta propuesta alternativa, serán las mismas que las que afectan a la teoría del Pórtico Equivalente, así como al programa estructural Etabs V9.0, con la diferencia que en este trabajo se pone a consideración la acción de fuerzas horizontales, como el sismo, en la obtención de los momentos de diseño de la losa, ya que en la teoría de estos elementos, solo se diseñan para resistir carga vertical.

1.6 ANALISIS DE LOSAS EN DOS DIRECCIONES

Las losas bidireccionales se flexionan bajo la acción de cargas, quedando su superficie deformada en forma de plato, pues se da flexión en las dos direcciones principales, en consecuencia deben reforzarse en ambas direcciones. Un análisis elástico y teórico de estas losas es muy complejo, debido a su naturaleza hiperestática, altamente indeterminada. Se requieren procedimientos numéricos, como el de diferencias finitas o el de elementos finitos, pero estos métodos no son prácticos para el diseño manual.

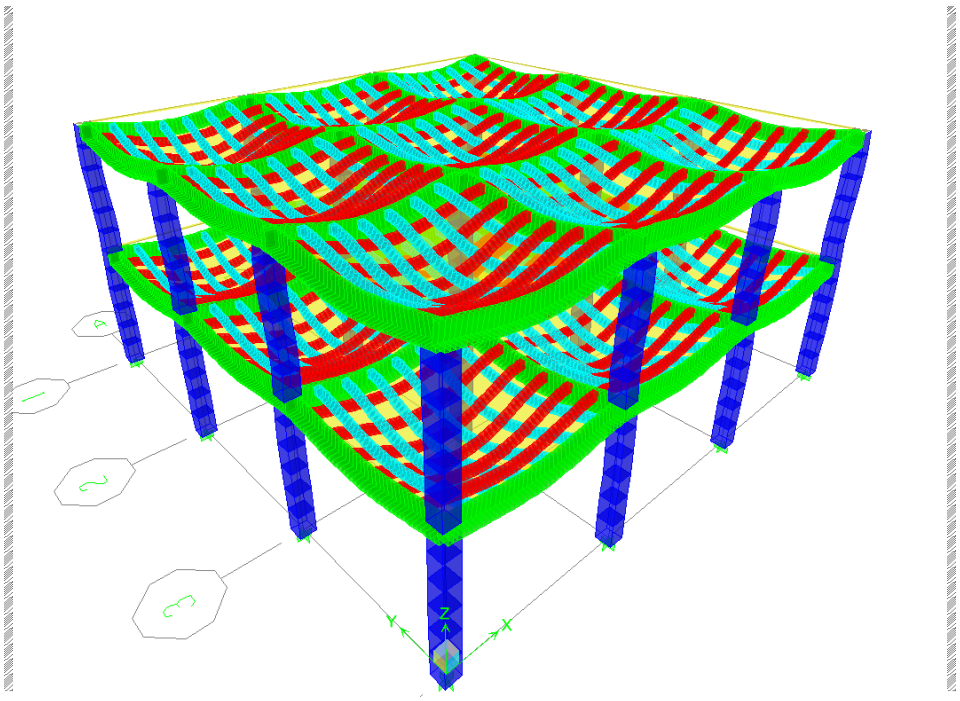


Figura 1.1 Flexión en losas bidireccionales

En realidad, el hecho de que ocurra una gran distorsión de esfuerzos en las losas bidireccionales bajo grandes cargas, hace innecesario el diseño basado en análisis teóricos. En consecuencia, el diseño de las losas en dos direcciones se basa en coeficientes mayorados para determinar momentos, los que si bien no predicen exactamente las variaciones de los esfuerzos, conducen al proporcionamiento de losas con factores de seguridad globales satisfactorios. En otras palabras si se coloca demasiado refuerzo en una parte de la losa y muy poco en otra parte, el comportamiento resultante de la losa probablemente seguirá siendo satisfactorio. La cantidad total de refuerzo en una losa parece ser más importante que su colocación exacta.

Debe quedar claro, que esto no impide al diseñador el uso de métodos exactos, se puede diseñar losas con base en soluciones numéricas, análisis de líneas de fluencia u otros métodos teóricos, siempre que se demuestre claramente que se cumplen los criterios necesarios de seguridad y servicio requeridos por los diferentes códigos que rigen el diseño.

Aunque se ha extendido durante muchos años la corriente de diseñar con base en análisis aproximados y usar momentos promedio en vez de momentos reales, las losas en dos direcciones así diseñadas, han mostrado tener un comportamiento satisfactorio bajo cargas de servicio. Más aún, han demostrado tener una apreciable capacidad a sobrecargar.

CAPÍTULO II

2. PREDIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE 20 ESTRUCTURAS (CARGA MUERTA+CARGA VIVA+SISMO) POR MÉTODO MATRICIAL Y POR EL MÉTODO DEL PÓRTICO EQUIVALENTE

2.1 IMPORTANCIA DEL PREDIMENSIONAMIENTO.

El predimensionamiento de las estructuras analizadas en esta investigación, es importante para el desarrollo de esta alternativa de análisis de losas bidireccionales con vigas, ya que este procedimiento de estudio se basa en las

dimensiones del conjunto viga-losa para determinar los porcentajes de distribución de momentos; además, para someter una estructura a un procedimiento de análisis de hormigón armado es importante conocer las dimensiones mínimas que se van a resolver en el diseño.

Se debe tener en cuenta que el predimesionamiento de los elementos estructurales de los casos a ser analizados es básico, sobre todo para determinar un correcto análisis de cargas tanto muerta como viva y el respectivo análisis sísmico, y se debe tener presente además las recomendaciones y normas del hormigón armado para este proceso.

2.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS.

Para la determinación de una alternativa de análisis y diseño de losas bidireccionales con vigas, se toman en cuenta 2 tipos de estructuras, las cuales se diferencian una de la otra, por su conformación en relación a las vigas:

- Estructuras con vigas descolgadas
- Estructuras con vigas bandas

Para hacer esta separación en el análisis de las losas con vigas, no debemos suponer que esta división presume un tratamiento diferente entre estructuras con vigas descolgadas y con vigas bandas, todo lo contrario, debemos tener claro que las losas con vigas bandas también son losas con vigas, solamente que éstas, son de igual peralte que la losa.

De manera general, se analizarán estructuras de características simétricas y con una relación entre la luz larga y luz corta igual a 1. En los casos de las estructuras que tienen voladizos, estos se colocarán en uno de los extremos de cada uno de los pórticos en el sentido X, y sentido Y de la estructura, con una dimensión de L/3 siendo L la luz que antecede al volado.

2.2.1 ESTRUCTURAS CON VIGAS DESCOLGADAS

Como en todo predimensionamiento de estructuras en hormigón, se debe conocer las dimensiones generales de la estructura a analizar, en otras palabras, es necesario conocer las dimensiones en una vista en planta y

elevación de la edificación, en este trabajo tomaremos estructuras de medidas regulares como se muestra en la figura 2.0.

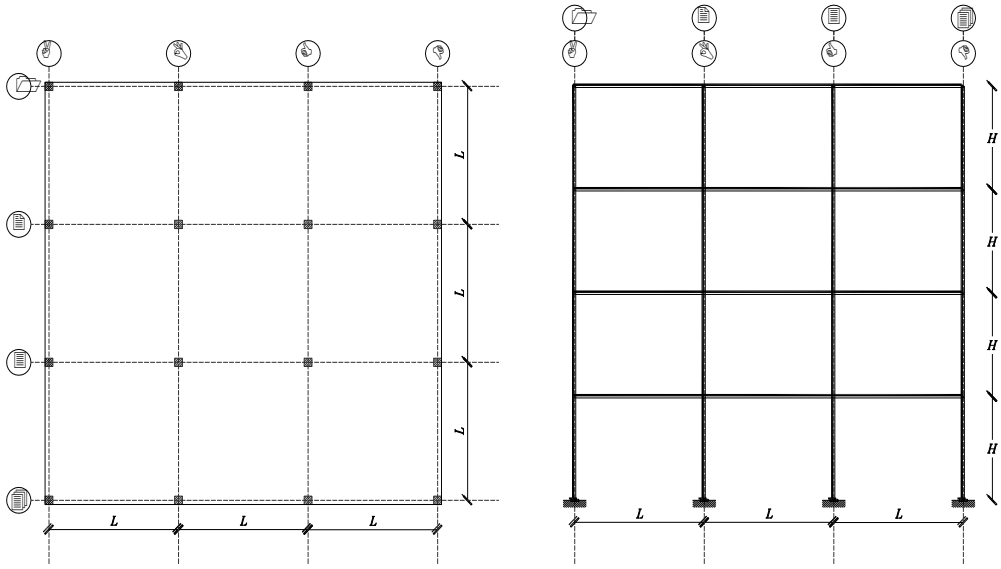


Figura 2.0. Vista en planta y elevación de la estructura.

Con las dimensiones establecidas de la estructura, se procede a conocer la altura o peralte de la losa de acuerdo a lo establecido en código CEC 2001 en la sección 9.5.3.1.

$$h = \frac{\ln \times (800 + 0.0712 \times fy)}{36000} \quad \Rightarrow \quad h = 0{,}03 \times \ln \qquad (2.1)$$

$$h = \frac{\ln \times (800 + fy/1.5)}{36000 + 5000\beta[\alpha_m - 0.5(1-\beta_t)(1+1/\beta)]} \qquad (2.2)$$

$$h = \frac{\ln \times (800 + fy/1.5)}{36000 + 5000\beta(1+\beta_t)} \qquad (2.3)$$

En donde:

h : Altura del elemento

fy : Resistencia a la fluencia del acero no presforzado.

ln : Longitud de la luz libre en la dirección mayor de losas, Medida cara a cara de los apoyos.

β : Relación de luces libres, larga a corta en losas.

α_m : Valor promedio de la relación de rigidez a la flexión en vigas.

En nuestro país, la losa típica es alivianada, por tanto para poder comparar el espesor de la losa con lo obtenido con la fórmula 2.1, es necesario encontrar su altura como si fuera una losa maciza.

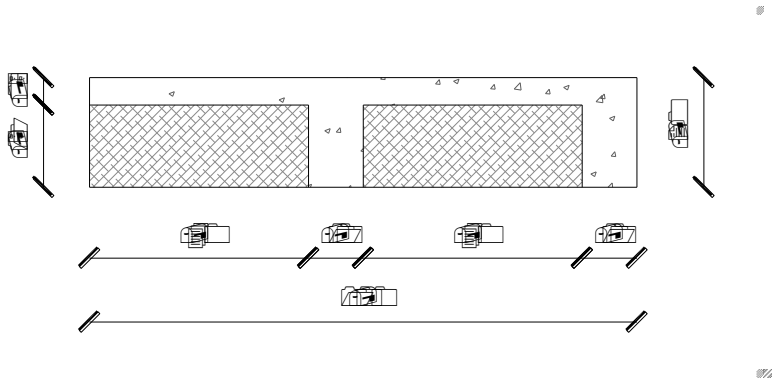


Figura 2.1. Corte típico de losa alivianada e=20cm

La figura 2.1, muestra un corte típico de una losa alivianada de 20cm, de espesor. La loseta de compresión es de 5cm, los nervios y espaciamiento tienen una distribución 10 - 40 - 10 - 40. Se usa un ancho unitario de 1m, para calcular su inercia como viga T (ver figura 2.2).

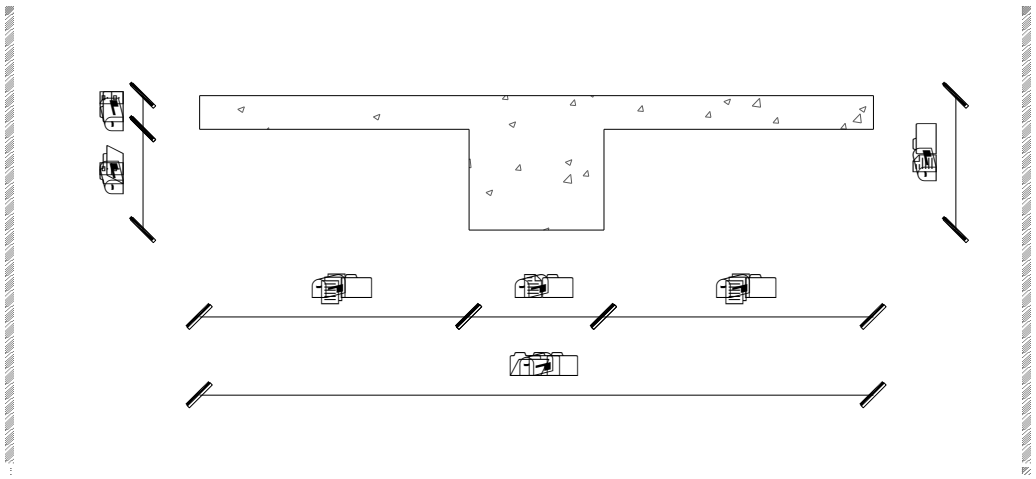


Figura 2.2. Viga T

Esta inercia se puede igualar a la de una losa maciza también de 1m de ancho y una altura equivalente “h_{equi}”, de donde se puede calcular este valor.

Se comparan las alturas, y debe buscarse el mayor valor de “h” para los tableros más críticos (en este caso todos los valores de h van a ser los mismos), y este valor corresponderá a la altura de la losa.

2.2.1.1 ANALISIS DE CARGA

Conocida la altura de losa, se puede realizar con más claridad el análisis de carga de la estructura, es decir, las cargas que van a ser soportadas por la losa en lo referente a carga muerta y carga viva, para esto el código CEC 2001 nos proporciona los valores referentes a las cargas y pesos de cada uno de los elementos que componen el elemento losa, así como las cargas vivas de las estructuras de acuerdo a su uso y ocupación.

A continuación se muestra un ejemplo del análisis de carga para la estructura de dos pisos, con losas bidireccionales de 20cm de espesor:

ANALISIS DE CARGA

Lnervios / m² =	3.6	M	
$\gamma_{Hormigón}$ =	2400	kg/m³	
γ_{bloque} =	1000	kg/m³	
Volumen bloque =	0.096	m³	(40x20x15x8)
Nervios =	129.6	kg/m²	
Carpeta =	120	kg/m²	
Bloque =	96	kg/m²	

P1 =	345.6	kg/m²
Peso vigas (20%*P1) =	69.12	kg/m²
Acabados =	120	kg/m²
Columnas =	80	kg/m²
Paredes y Enlucidos =	200	kg/m²
CM =	814.72	kg/m²
CV =	200	kg/m²
C total =	1014.72	kg/m²
	1.0	**T/m²**

Como se nota en este ejemplo, es necesario ser específico en cada uno de los elementos que van a aportar carga en la estructura, y en el caso de las vigas, para efectos de predimensionamiento, al no tener dimensiones de estos elementos es recomendable aumentar el valor de la carga total en un 20% de la carga de la losa en general para considerar su aporte y poder determinar el dimensionamiento.

2.2.1.2 CORTANTE BASAL DE DISEÑO

El coeficiente de cortante basal total de diseño “V”, se determinará de acuerdo al código CEC 2001 en su artículo 6.2.1 de la sección de requisitos generales de diseño, en donde expresa la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Z \times I \times C}{R \times \phi_p \times \phi_e} \qquad (2.4)$$

En donde:

V : Coeficiente de Cortante Basal de Diseño

Z : Factor de Zona

I : Uso, importancia y destino de la estructura.

C : Factor que representa el espectro elástico.

R : Factor de reducción de respuesta estructural.

Φ_p y Φ_e : Factores de configuración estructural en planta y elevación.

En donde el valor que representa el espectro elástico C, debe calcularse y cumplir la siguiente expresión:

$$0{,}5 \leq \left[\ C = 1{,}25 \frac{S^S}{T}\ \right] \leq Cm \qquad (2.5)$$

En donde:

Cm : Factor elástico del tipo de suelo S2

S : Coeficiente del suelo S2.

T : Período de vibración de la estructura.

El período de vibración de la estructura "T", se ha determinado de acuerdo a la fórmula 2.6, que se muestra a continuación:

$$T = Ct \times hn^{3/4} \qquad (2.6)$$

En donde:

Ct : 0.0731 para pórticos espaciales de hormigón armado

hn : Altura máxima de la edificación medida desde la base.

Con la fórmula 2.6, se obtuvieron los valores del período de vibración de las estructuras analizadas, los cuales se muestran en la tabla 2.1 a continuación:

Tabla 2.1. Valores Obtenidos de T

Pisos	hn	T(seg)
1	2.7	0.15397
2	5.4	0.25895
3	8.1	0.35098
4	10.8	0.43550
5	13.5	0.51483

La tabla 2.2, muestra los valores que se han usado para determinar el cortante basal de diseño, nótese que los datos que se consideran para la configuración estructural en planta y elevación, tienen un valor de 1, con esto queda

comprobado que las estructuras analizadas son de características simétricas y de pórticos regulares.

Tabla 2.2. Valores usados para obtener el cortante basal.

Factor	Valor
Z	0.4
I	1
S	1.2
C	3
R	10
Φp	1
Φe	1

El valor de “V”, corresponde a un coeficiente del cortante basal de diseño, para determinar el mismo como una acción horizontal en la estructura, este valor debe ser multiplicado por el peso de la estructura.

$$V_{basal} = V \times W_{T.} \qquad (2.7)$$

La fórmula 2.7 muestra la forma de obtener el cortante basal como una acción horizontal; este valor debe ser distribuido de manera proporcional a cada uno de los pórticos para poder obtener valores de acción unitarios en cada uno de ellos. El valor” W_T”, corresponde al peso total de la estructura.

En las estructuras que tienen volados en sus extremos, según el CEC2001, parte 1, capítulo 12, sección 6.10.1 en los voladizos se diseñará el sismo para una fuerza vertical reversible “Fv”:

$$Fv = \frac{2}{3} \times Z \times I \times Cm \times Wp \qquad (2.8)$$

En donde:

Wp: Peso muerto que actúa en el voladizo

Z : Factor de Zona

I : Uso, importancia y destino de la estructura.

Cm: Factor que representa el espectro elástico según el tipo de suelo.

2.2.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS

Las columnas como parte integrante de las estructuras a analizar, deben ser predimensionadas en concordancia con las dimensiones en toda la estructura.

El procedimiento para determinar las secciones de columnas en las estructuras se basa en los siguientes pasos:

1. Definir una numeración de columnas en función de los ejes de la estructura.
2. Determinar el área cooperante de cada columna de la estructura.
3. Determinar el valor de la carga que soporta cada columna en función de la carga y del área cooperante.
4. Determinar el área de hormigón “Ag” de cada columna.
5. La raíz cuadrada de “Ag”, corresponderá al área de columna, teniendo en cuenta por supuesto los requerimientos del CEC2001, en donde se fija el valor de la sección mínima de columna de 900cm² (30 x 30).

2.2.1.4 PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS VIGAS

Como se ha señalado inicialmente en este trabajo, es necesario conocer una sección definida de las vigas de las estructuras, ya que es importante para definir los factores de distribución de los momentos de diseño de la viga y la losa.

Para obtener dimensiones de las vigas es necesario contar con momentos que permitan alcanzar secciones iniciales de diseño, como hasta el momento no se han definido estos valores por ningún método estructural, es necesario recurrir a los coeficientes definidos por el código CEC2001 en la sección 8, artículo 8.3; estos factores nos permiten lograr valores de manera directa tanto para momentos positivos y negativos, y estas estructuras cumplen los requerimientos para aplicar esta teoría.

Determinados estos momentos, se ubica el mayor de ellos en la viga y con este valor y con la ayuda de la fórmula 2.9 procedemos a realizar el predimensionamiento.

$$d = \sqrt{\frac{MR}{Ru \times b}}$$

(2.9)

En la expresión 2.9, el valor “MR” corresponde al momento resistente, “d”, corresponde al peralte de la viga, “b” es la base del elemento y “Ru”, es un factor de agrupación que depende de las características de los materiales tanto acero como hormigón que se describe en la fórmula de momento resistente.

$$MR = \frac{Mu}{\phi}$$

$$d^2 \times \left[\varphi \times b \times fy \times \left(1 - 0.59 \frac{\varphi \times fy}{f'c} \right) \right] = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Ru = \left[\varphi \times b \times fy \times \left(1 - 0.59 \frac{\varphi \times fy}{f'c} \right) \right]$$

$$d^2 \times Ru = \frac{Mu}{\phi}$$

Para las vigas se da una base única en todas las estructuras de 20cm y se obtiene el valor del peralte y se adhiere el recubrimiento, procurando conseguir secciones de valores cerrados y que se acoplen a la realidad de las obras.

Tabla 2.3. Dimensiones de Estructuras sin Volados con Vigas Descolgadas

Pisos	Cmuerta	Cviva	Vbasal	hlosa	Vigas b x h		Dist.entre	H total
	(T/m²)	(T/m²)	(Ton)	(m)	AD14	BC23	ejes (m)	(m)
1	0.744	0.20	5.78	0.15	20x30	20x30	3.0	2.7
2	1.014	0.20	22.80	0.20	20x30	20x35	3.5	5.4
3	1.014	0.20	44.82	0.20	20x30	20x40	4.0	8.1
4	1.104	0.20	83.54	0.25	20x35	20x45	4.5	10.8
5	1.104	0.20	128.92	0.25	20x40	20x50	5.0	13.5

Una vez que se ha logrado obtener dimensiones de las estructuras de uno a cinco pisos con vigas descolgadas y con diferentes valores de luces que varían entre 3m y 5m, y conseguidos los valores de las acciones tanto verticales (carga muerta y carga viva), como horizontales (cortante basal de diseño)

podemos decir que las estructuras pueden ser usadas en programas computacionales y determinar las verdaderas acciones sobre cada una de ellas.

Tabla 2.4 Dimensiones de Estructuras con Volados con Vigas Descolgadas

Pisos	Cmuerta	Cviva	Vbasal	Fv	hlosa	Vigas b x h (cm)			Lvola	Dis (m)	Ht
	(T/m²)	(T/m²)	(T)	(T)	(m)	A1	D4	BC23	(m)	ejes	(m)
1	0.744	0.20	7.13	4.36	0.15	20x30	20x30	20x30	1	3.0	2.7
2	1.014	0.20	28.40	9.15	0.2	20x30	20x35	20x35	1.2	3.5	5.4
3	1.014	0.20	55.07	11.27	0.2	20x30	20x40	20x40	1.3	4.0	8.1
4	1.104	0.20	103.14	16.29	0.25	20x35	20x45	20x45	1.5	4.5	10.8
5	1.104	0.20	159.80	20.55	0.25	20x40	20x50	20x50	1.7	5.0	13.5

2.2.2 ESTRUCTURAS CON “VIGAS BANDA”.

El predimensionamiento de estructuras con losas con vigas banda, en su etapa inicial, como la altura de losa, análisis de cargas, cortante basal y dimensiones de columnas, mantiene un procedimiento similar a lo tratado en la sección 2.2.1 de esta investigación. Los valores usados para determinar el cortante basal en las estructuras, difieren en el factor de reducción de respuesta estructural, el cual toma un valor de 8.

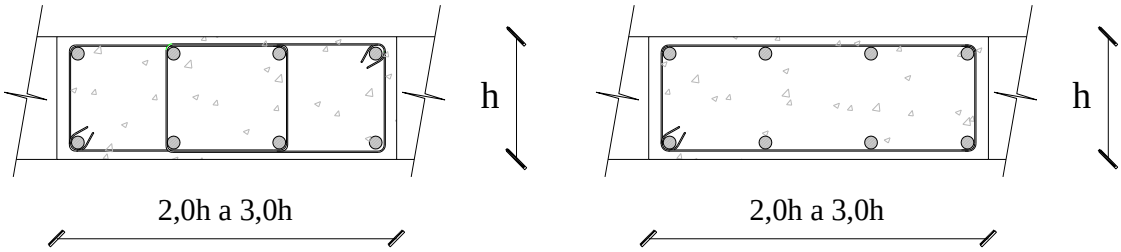


Figura 2.3. Sección de Viga Banda

En el dimensionamiento de las vigas existe una diferencia sustancial, ya que según el Ing. Hernán Estupiñán en su cátedra de Proyectos Estructurales en la Universidad Central del Ecuador, en las bandas o vigas perdidas, se debe

cumplir ciertas recomendaciones para que se conecten a las columnas en forma adecuada y se puedan absorber los esfuerzos a que estén sometidas tanto a carga vertical como a carga lateral, esta recomendación se muestra en la figura 2.3 en donde se nota que la base de estas vigas es 2 a 3 veces la altura de la misma.

Tabla 2.5. Dimensiones de Estructuras sin Volados con Vigas Bandas

Pisos	Cmuerta	Cviva	Vbasal	hlosa	Vigas b x h		Dist.	H total
	(T/m²)	(T/m²)	(Ton)	(m)	AD14	BC23	ejes (m)	(m)
1	0.744	0.20	7.22	0.15	75x15	150x15	3.0	2.7
2	1.014	0.20	28.60	0.2	90x20	175x20	3.5	5.4
3	1.014	0.20	56.03	0.2	100x20	200x20	4.0	8.1
4	1.104	0.20	104.42	0.25	115x25	225x25	4.5	10.8
5	1.104	0.20	161.14	0.25	125x25	250x25	5.0	13.5

Tabla 2.6. Dimensiones de Estructuras con Volados con Vigas Bandas

Pisos	Cmuerta	Cviva	Vbasal	Fv	hlosa	Vigas b x h (cm)			L vola	Dis (m)	Ht
	(T/m²)	(T/m²)	(Ton)	(Ton)	(m)	A1	D4	BC23	(m)	ejes	(m)
1	0.744	0.20	7.13	4.36	0.15	75x15	75x15	150x15	1	3.0	2.7
2	1.014	0.20	28.40	9.15	0.2	90x20	90x20	175x20	1.2	3.5	5.4
3	1.014	0.20	55.07	11.27	0.2	100x20	100x20	200x20	1.3	4.0	8.1
4	1.104	0.20	103.14	16.29	0.25	115x25	115x25	225x25	1.5	4.5	10.8
5	1.104	0.20	159.80	20.55	0.25	125x25	125x25	250x25	1.7	5.0	13.5

2.3. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS DEBIDO A CARGA MUERTA, CARGA VIVA, Y SISMO POR MÉTODO MATRICIAL.

La determinación de esfuerzos debido a las solicitudes horizontales y verticales de las estructuras, se pueden obtener a través de la aplicación de las teorías estructurales correspondientes al análisis matricial de estructuras, específicamente lo relacionado a la resolución de pórticos planos bajo la acción de cargas tradicionales de diseño como son: carga muerta, carga viva y cargas sísmicas, todo esto siguiendo los lineamientos del método de los desplazamientos, que aunque no es el motivo de esta investigación, calificar su funcionalidad y tampoco describir su metodología, es una herramienta útil para conseguir los esfuerzos generados por la acción de las solicitaciones externas.

Para la aplicación de esta teoría, hay que realizar una identificación de la estructura, como se nota en la figura 2.4, en donde los números encerrados en círculos representan al número de nudos o uniones que la constituyen, y los números que están en cuadrados representan al número de cada elemento del pórtico que se está analizando. Como se nota, la estructura está constituida de 8 nudos y 7 elementos.

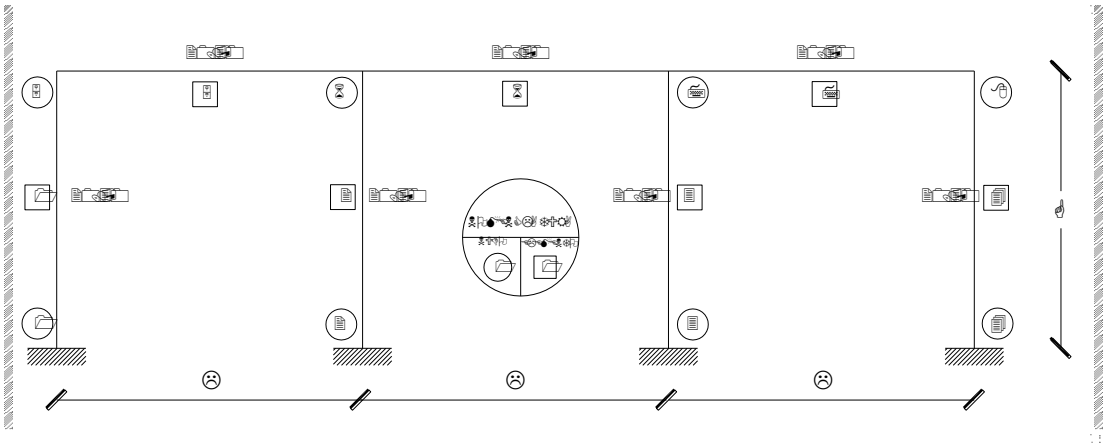


Figura 2.4. Numeración de nudos y elementos del pórtico.

Además se debe tener conocimiento de las dimensiones de cada uno de los elementos de la estructura, es decir se necesita conocer los datos relacionados a las secciones de las vigas y columnas, así como la ubicación de cada nudo en un sistema de ejes cartesianos, y de las cargas a la que está sometida la estructura, como se nota en la figura 2.5

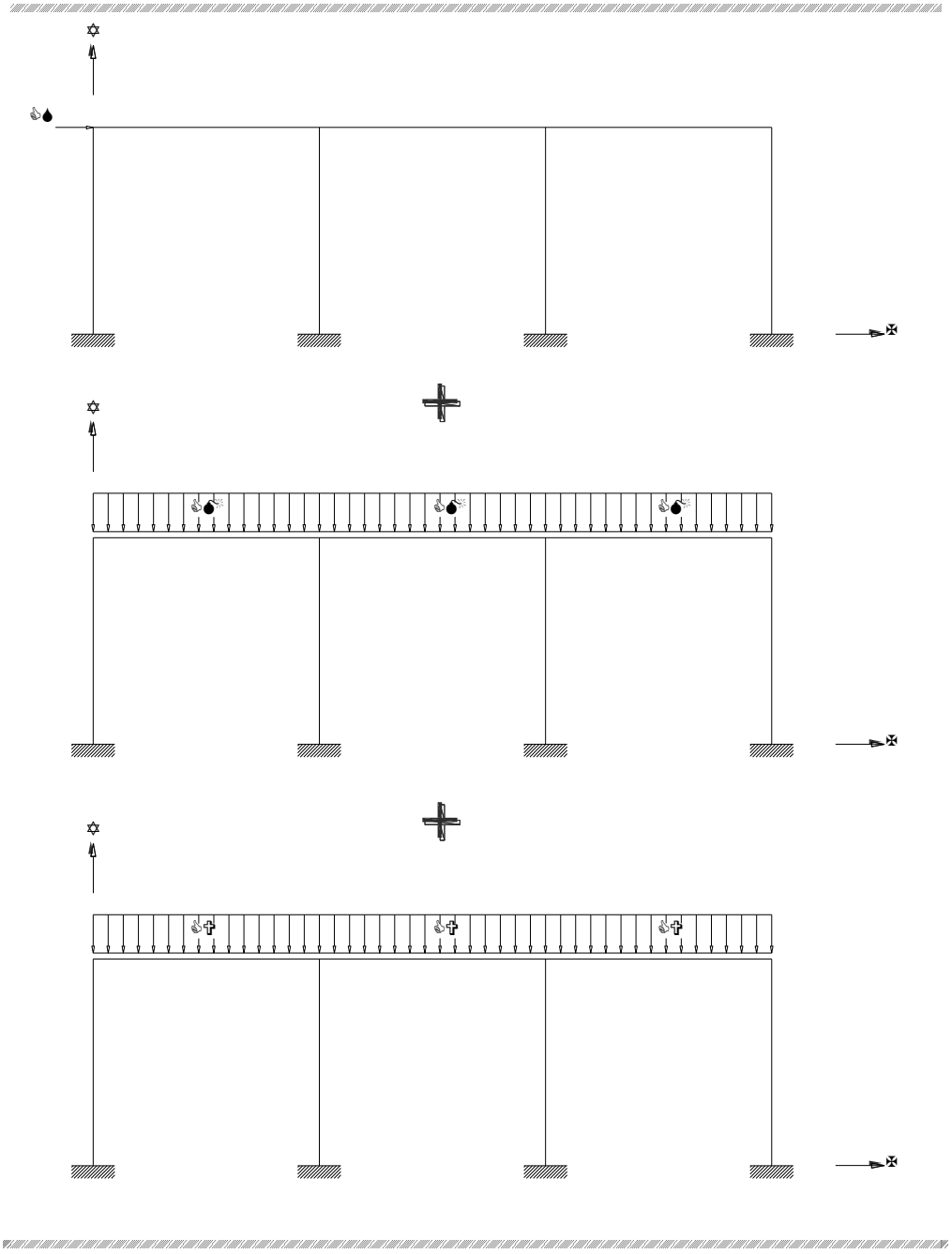


Figura 2.5. Solicitaciones de carga en los pórticos y sistema de coordenadas

Para cada estado de carga que se analiza, es necesario determinar parámetros de diseños de los pórticos que se analizan, los mismos que se tabulan a continuación:

Carga Muerta (CM)									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
$M_{(-)}$	1.754		2.081	1.998		1.998	2.081		1.754
$M_{(+)}$		1.166			1.086			1.166	

Carga Viva (CV)									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
$M_{(-)}$	0.393		0.466	0.447		0.447	0.466		0.393
$M_{(+)}$		0.264			0.246			0.264	

Carga Sísmica (CS)									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
$M_{(-)}$			0.607			0.549			0.668
$M_{(+)}$	0.668			0.549			0.607		

Con los valores obtenidos y de acuerdo a las combinaciones de carga descritas por el código CEC2001 en la sección 9.2, se obtienen los momentos de diseño.

$$C_1 = (1.4 \times CM) + (1.7 \times CV)$$

$$C_2 = 0.75 \times ((1.4 \times CM) + (1.7 \times CV) + (1.87 \times CS))$$

$$C_3 = 0.75 \times ((1.4 \times CM) + (1.7 \times CV) - (1.87 \times CS))$$

MOMENTOS DE DISEÑO									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
$M_{(-)}$	3.28		3.706	3.557		3.557	3.706		3.28
$M_{(+)}$		2.081			1.939			2.081	

El presente ejemplo corresponde a los momentos del primer piso de un pórtico central de una estructura de dos pisos sin volados. El anexo A, muestra los valores obtenidos en las estructuras analizadas.

2.4 MÉTODO DEL PORTICO EQUIVALENTE

Los códigos ACI y CEC2001, incluyen dos métodos para el diseño de sistemas de piso o losa, el método directo y el Pórtico Equivalente; el método del Pórtico Equivalente es más laborioso que el método directo, y entrega resultados más reales.

El Pórtico Equivalente es un procedimiento de análisis de losas armadas en dos direcciones, que considera un análisis elástico para la determinación de momentos. Aquí se divide la estructura para efectos analíticos en pórticos continuos centrados en ejes de columnas y extendiéndose, tanto longitudinal como transversalmente.

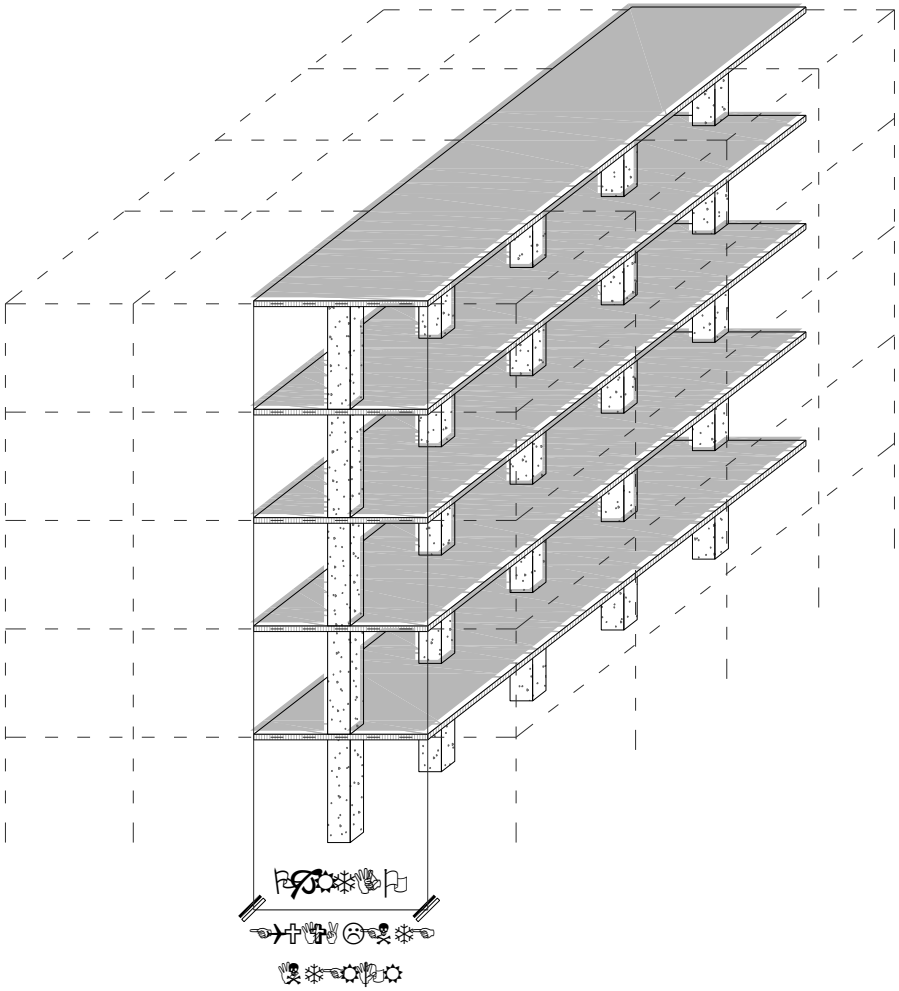


Figura 2.6. Sistema de Pórticos Bidimensionales.

Este método se basa en la transformación de la estructura tridimensional en una serie de sistemas bidimensionales denominados pórticos equivalentes (ver figura 2.6), centrados en los ejes de las columnas o de los apoyos, con cada pórtico extendiéndose hasta la altura total de la estructura.

El ancho de cada pórtico equivalente está limitado por los ejes centrales de los paneles adyacentes, además de que éstos son capaces de reproducir el comportamiento del conjunto si se toman algunas previsiones en la determinación de sus propiedades.

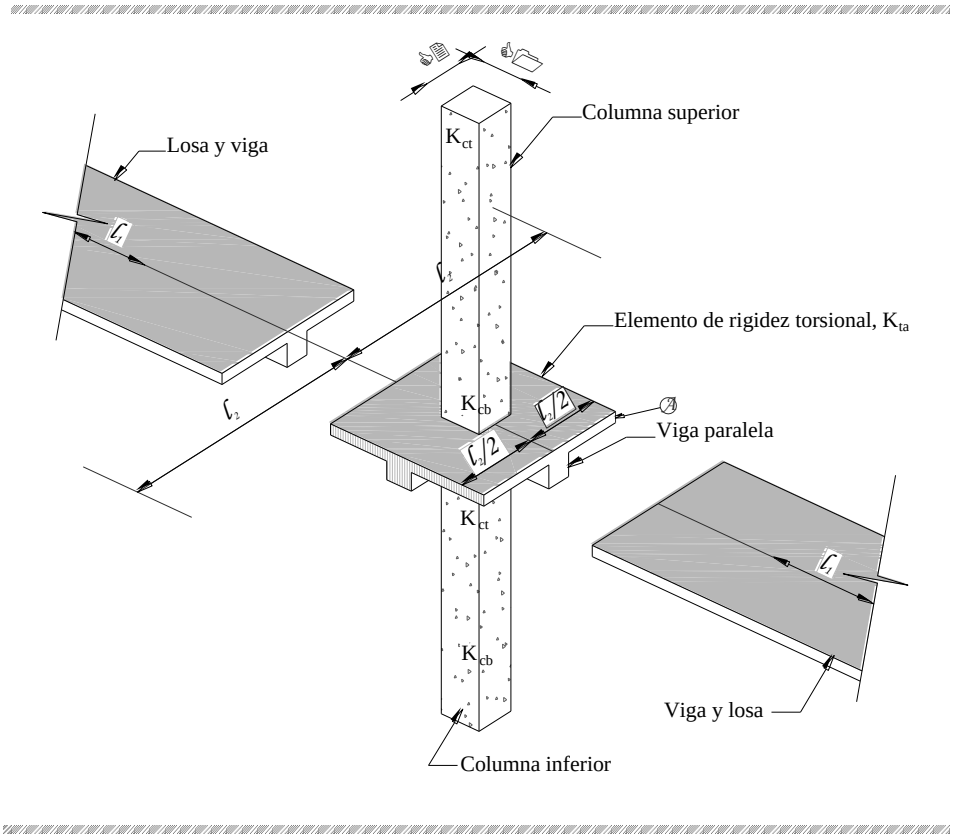


Figura 2.7. Elementos que constituyen el Pórtico Equivalente.

El pórtico equivalente, está constituido por tres elementos básicos los cuales se presentan en la figura 2.7 y son:

1. Las franjas de losa limitadas por las líneas centrales de los paneles adyacentes al eje en estudio.

2. Las columnas u otros soportes verticales alineados a lo largo del eje analizado. La longitud de la columna es evaluada al eje de la losa de niveles consecutivos
3. Los elementos de la estructura que transmiten los momentos de la losa a la columna, son transversales a la dirección de análisis y se extienden

a todo el ancho de la franja de losa. Son denominados también elementos de rigidez torsional.

2.4.1 CONSIDERACIONES PARA APLICACIÓN DEL MÉTODO.

1. Debe considerarse que la estructura está constituida por pórticos equivalentes a lo largo de ejes de columnas tomadas longitudinal y transversalmente a través de la estructura.
2. Cada pórtico debe consistir en una hilera de columnas o apoyos y franjas de viga-losa limitadas lateralmente por el eje central de la losa a cada lado del eje de las columnas o de los apoyos.
3. Debe suponerse que las columnas o apoyos están unidos a las franjas de viga-losa mediante elementos torsionales transversales a la dirección del tramo para lo cual se están determinando los momentos, extendiéndose hasta los ejes centrales de las losas laterales a cada lado de la columna.
4. Los pórticos adyacentes y paralelos a un borde deben estar limitados por dicho borde y el central de la losa adyacente.
5. Se permite el análisis de cada pórtico equivalente en su totalidad. Alternativamente, para cargas gravitacionales se permite un análisis de cada piso o techo con sus extremos lejanos considerados como empotrados.
6. Cuando las vigas-losa son analizadas separadamente, se permite determinar el momento en un apoyo dado suponiendo que la viga-losa está empotrada en cualquier apoyo, siempre que la losa continúe más allá de dicho punto.

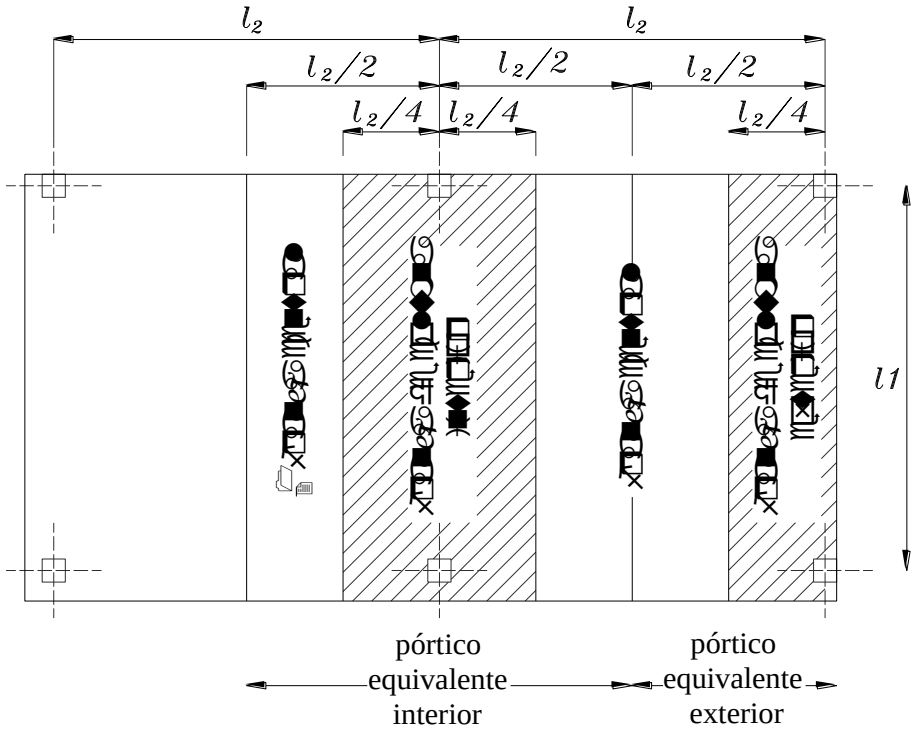


Figura 2.8. Franjas de Diseño del Pórtico Equivalente

El campo de aplicación del método del pórtico equivalente, se limita a la aplicación de cargas verticales y horizontales.

Para que este método sea válido es preciso que las estructuras no estén en los siguientes casos:

- Asimetrías notables en la estructura, en planta o en elevación.
- Estructuras sensibles a sismo.
- Existencia de elementos de rigidez transversal (muros de corte).

2.4.2 PASOS PARA APLICAR EL MÉTODO

En general el método del pórtico equivalente, consiste en aplicar los pasos que a continuación se mencionan:

a) Idealización de la estructura tridimensional en pórticos bidireccionales.
b) Determinación de las rigideces de los elementos que forman los pórticos.
c) Análisis estructural de los pórticos.
d) Distribución de los momentos flexionantes obtenidos en el análisis.
e) Dimensionamiento de los elementos de la estructura.

Se hace una simplificación que consiste en idealizar la estructura por una serie de pórticos en dos direcciones. Las columnas de los pórticos equivalentes son modificadas de manera que, además de la columna se incluye la viga perpendicular a la dirección del marco equivalente, para tomar en cuenta el efecto de restricción por torsión que ejercen las vigas sobre la losa.

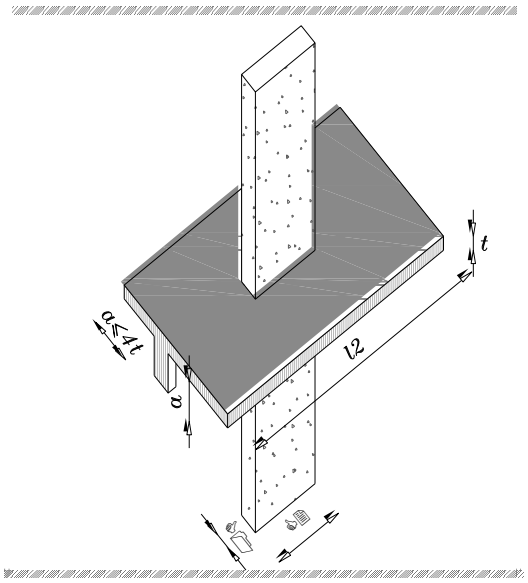


Figura 2.9. Columna Modificada Equivalente

Para calcular las rigideces se consideran secciones gruesas de concreto y sin tomar en cuenta el acero de refuerzo.

La columna equivalente está formada por la columna y una viga que trabaja a torsión, restringiendo a la losa. Para calcular la rigidez de este elemento compuesto, se usa la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t} \qquad (2.10)$$

En donde:

K_{eq} : rigidez de la columna equivalente.

ΣK_c : suma de las rigideces a flexión de los tramos de columnas.

K_t : rigidez a torsión de la viga.

La rigidez K_c es la rigidez gruesa de la columna, mientras que la rigidez torsionante K_t , puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$K_t = \frac{9E_{cs}C}{l_2\left(1-\frac{C_2}{l_2}\right)^3} \qquad (2.11)$$

En donde:

E_{cs} : Módulo de elasticidad del concreto.

$$C = \sum\left(1-0.63\frac{x}{y}\right)\frac{x^3y}{3} \qquad (2.12)$$

X : dimensión total menor de la sección transversal rectangular.

Y : dimensión total mayor de la sección transversal rectangular.

Cuando los elementos a torsión forman pórticos con las columnas en la dirección en la que se determinan los momentos flectores, se recomienda en éste usar la siguiente fórmula:

$$K_{ta} = K_t \frac{I_A}{I_s} \qquad (2.13)$$

I_A es el momento de inercia de la losa incluyendo la parte de la viga que se proyecta hacia arriba y debajo de la losa, I_S es el momento de inercia del ancho de la losa igual al ancho del tablero excluyendo la parte del alma de la viga que se proyecta arriba y debajo de la losa.

Una vez calculadas las rigideces de las vigas y columnas de la estructura equivalente, se efectúa el análisis estructural por los procedimientos usuales para pórticos bidimensionales, sean estos métodos de distribución, cadena abierta o software computacional estructural. Este análisis puede hacerse aislando cada uno de los pisos y suponiendo las columnas, superior e inferior, empotradas en sus extremos. Pero el análisis por carga horizontal debe analizarse en el pórtico completo.

Una vez hecha la división en las franjas ya señaladas anteriormente, se distribuyen los momentos obtenidos en el análisis estructural entre la franja de columnas y la franja de tramo. Se calculan los momentos en la franja de columnas, multiplicando los momentos totales por los porcentajes mostrados en la tabla 2.2. Después, se distribuyen los momentos en la franja de columnas entre las vigas y los tramos de losa. Por último, se calculan los momentos en las franjas centrales restando los momentos de las franjas de columnas de los momentos totales. Debe tomarse en cuenta la tabla 2.3 en esta distribución.

Tabla 2.7. Porcentaje de los momentos totales en franja de columnas

l_2 / l_1		0.5	1.0	2.0
Momento negativo interior				
$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$		75	75	75
$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 0$		90	75	45
Momento negativo exterior				
$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	$\beta t = 0$	100	100	100
	$\beta t \geq 2.5$	75	75	75
$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 0$	$\beta t = 0$	100	100	100
	$\beta t \geq 2.5$	90	75	45
Momento positivo				
$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$		60	60	60
$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 1$		90	75	45
Puede usarse interpolación lineal entre los valores mostrados				

Tabla 2.8. Porcentaje de momentos entre vigas y losas en franja de columnas

Relación de Rigideces	% viga	% losa
$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	0	100
$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 1$	85	15
Puede usarse interpolación lineal entre los valores mostrados		

La distribución de momentos descrita en las tablas 2.2 y 2.3, está hecha sobre la base de la relación de luces (l_2/l_1) y de factores que involucran las rigideces a flexión de vigas y losas y de la rigidez a torsión de las vigas de borde. Se ha visto anteriormente que estos parámetros son los que más influyen en el comportamiento de los sistemas de losas.

Los factores α_1 y β_t que aparecen en las tablas, se definen de la siguiente manera:

- α_1 es la relación entre la rigidez de la sección de la viga y la rigidez a flexión de los tramos de losa a cada lado de la viga. Esta debe considerarse de sección T o L, con un ancho de patín a cada lado del alma igual a la proyección del alma arriba o debajo de la losa pero sin exceder el módulo de elasticidad del concreto de la viga y la losa y además la inercia de la losa.
- β_t es la relación de rigidez a torsión de la sección transversal de la viga de borde y la rigidez a flexión de un tramo de la losa cuyo ancho es igual al claro centro a centro de apoyos de la viga de borde.

Una vez obtenidas las acciones en los miembros estructurales, se procede al dimensionamiento de los mismos. A fin de que el comportamiento de la estructura sea más eficiente a este aspecto, se recomienda concentrar el refuerzo a flexión necesario para resistir las fuerzas horizontales en la franja de columnas.

El ejercicio que se muestra, corresponde a la primera planta de un pórtico central de una estructura de dos pisos sin volados.

El anexo B, muestra de manera explícita, el uso de la tabla 2.2 y 2.3 para la teoría del pórtico equivalente con sus respectivos parámetros para cada estructura analizada en esta investigación.

CUADRO DE DISTRIBUCION DE MOMENTOS									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
l_2/l_1	1			1			1		
α	0.73			0.73			0.73		
$\alpha \cdot l_2/l_1$	0.73			0.73			0.73		
%Fcol	97	75	75	75	75	75	75	75	97
%Fviga	0.85 x %Fcol			0.85 x %Fcol			0.85 x %Fcol		
FRANJA DE COLUMNAS									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
Mfcol	3.181	1.561	2.779	2.668	1.454	2.668	2.779	1.561	3.181
Mviga	2.704	1.327	2.362	2.268	1.236	2.268	2.362	1.327	2.704
Mlosa	0.477	0.234	0.417	0.4	0.218	0.4	0.417	0.234	0.477
FRANJA DE TRAMO									
	Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3		
MFtramo	0.098	0.52	0.926	0.889	0.485	0.889	0.926	0.52	0.098
MTlosa	0.576	0.754	1.343	1.289	0.703	1.289	1.343	0.754	0.576

CAPITULO III

3. MODELO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON ETABS V9.0.

3.1 INTRODUCCIÓN A ETABS V9.0.

En el presente capítulo, se realiza una introducción básica al programa estructural ETABS versión 9.0. La intención es señalar sus fundamentos y mostrar cuan rápido y fácil se puede crear un modelo usando este programa. Con la información que resulte de este programa, se realizarán comparaciones que nos permitan definir una alternativa de análisis de losas bidireccionales sobre vigas. Esta herramienta extremadamente versátil y poderosa posee muchas ventajas y funciones. Este capítulo no pretende cubrir la totalidad de éstas, más bien, muestra brevemente como trabajar con el programa, proporcionando órdenes en el desarrollo del modelo.

Etabs V9.0, es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos especiales para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Los métodos numéricos usados en el programa, los procedimientos de diseño y los códigos internacionales de diseño le permitirán ser productivo, tanto si se está analizando un modelo sencillo o realizando un análisis dinámico de un edificio de gran altura.

El programa trabaja dentro de un sistema de datos integrados. El concepto básico es que se crea un modelo consistente de los sistemas de piso y de pórtico vertical y lateral para analizar y diseñar toda la edificación.

Todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema coordenado fijo de análisis y diseño. Los efectos sobre una parte de la estructura debido a cambios efectuados en otra parte, son instantáneos y automáticos. Los métodos numéricos usados para analizar una edificación, permiten modelar sistemas de piso de tableros de acero y losa de concreto que puedan automáticamente trasmitir sus cargas a las vigas principales.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA GEOMETRÍA PARA EL ANÁLISIS

Para realizar el modelaje de las estructuras, este capítulo proporciona instrucciones paso a paso para construir un modelo básico de ETABS.

Cada paso del proceso de creación del modelo es identificado, y varias técnicas de construcción del modelo son introducidas. Al finalizar el mismo, usted habrá construido el modelo mostrado en la figura 3.1.

Esta figura muestra una estructura de dos pisos, la misma que está constituida de dos losas con vigas descolgadas en cada uno de sus niveles. Las vigas exteriores tienen secciones rectangulares de 20cm en la base y 30cm de altura, las vigas interiores son de 20cm de base y 35cm de alto; las losas son idénticas entre sí, con alivianamientos, conformados por una loseta de compresión de 5cm, y nervios en las dos direcciones de 10cm en la base y 15cm de alto, completando una altura total de losa de 20cm.

Las columnas tienen secciones cuadradas de 30cm de lado en los niveles respectivos, cada nivel tiene 2.7m de alto, entre ejes verticales. La estructura en general soporta cargas verticales y horizontales para el análisis, mismas que se detallan como una carga muerta producto de un análisis de cargas previo de 0.814 T/m², la carga viva de 0.2T/m² y un coeficiente de cortante basal de 0.12.

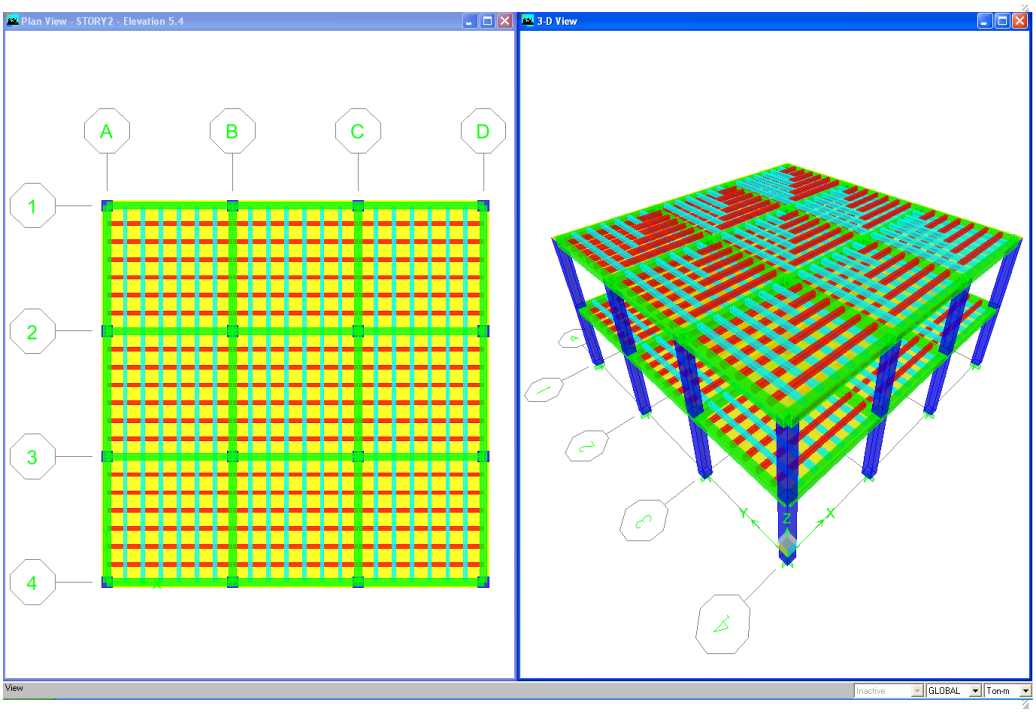


Figura 3.1. Ejemplo de un modelo

Las dimensiones entre cada uno de los ejes verticales, son de 3.5m en ambos lados de la estructura, completando un cuadrado de 10.5m de lado.

Cada una de las 20 estructuras que se analizan tienen las mismas características en su geometría básica, varían las dimensiones entre ejes horizontales, las secciones de elementos, viga, nervios, losa y columnas, todas

éstas, debido a que cada estructura tiene su propio dimensionamiento detallado en el capítulo 2 de esta investigación.

3.3 MODELAJE DE LA ESTRUCTURA

Una vez que se han definido las cargas y secciones que se van a modelar en Etabs de acuerdo a lo requerido en el predimensionamiento, se procede a abrir el programa y a la ejecución de los siguientes pasos:

a. Si las unidades mostradas en la caja de diálogo en la esquina inferior derecha de la ventana de Etabs, no están en Ton-m, seleccionar de esta caja de diálogo para fijar estas unidades.

b. Hacer clic en el comando "**File>New Model"** o en el ícono "**New Model"** de la barra de herramientas principal. Se despliega la siguiente pantalla:

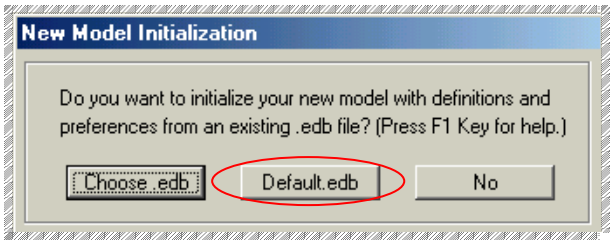


Figura 3.2 Formulario para iniciar nuevo modelo

c. Al seleccionar el botón "**Default edb"**, se despliega la figura 3.3, en donde se definen los ejes de la estructura en los planos horizontal y vertical. Es decir se define la grilla de la estructura o base del modelo a analizar. En este formulario se especifica el espaciamiento de la grilla, datos de elevación y número de pisos e incluso se puede dar nombres a cada uno de los ejes en cada sentido del plano XY. Se nota además las unidades en las cuales se va analizar el modelo.

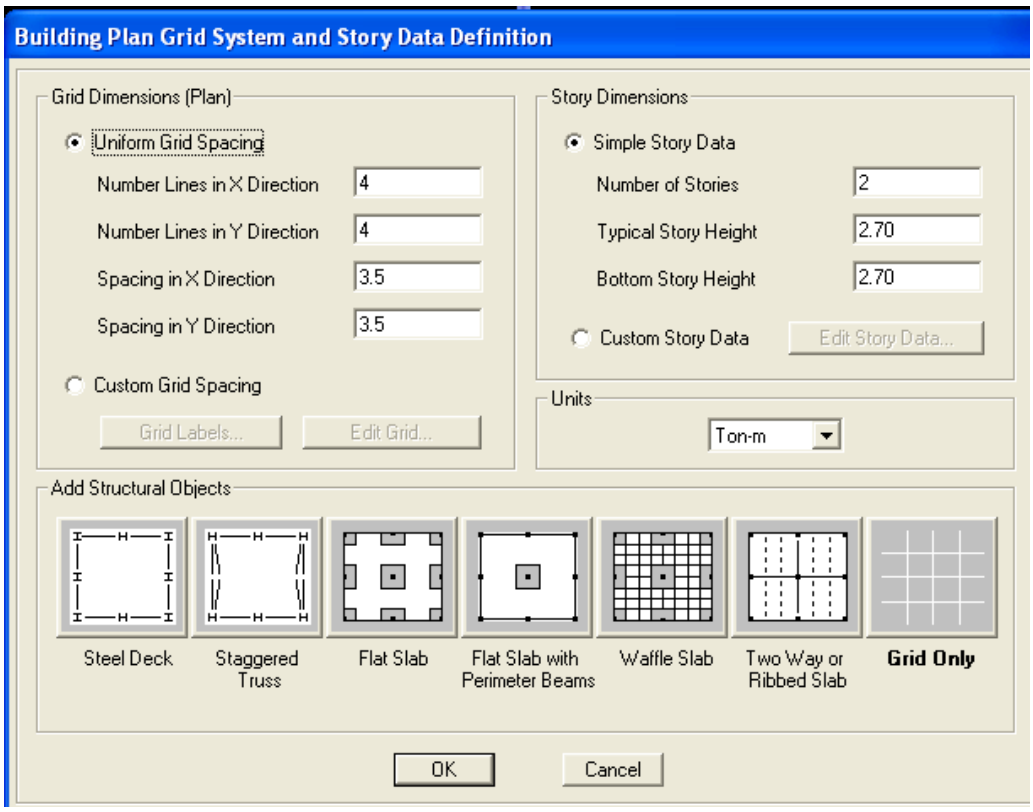


Figura 3.3 Formulario para plantear la grilla.

d. Se digita 4 en el número de líneas en la dirección X y Y, 3.5m en el espaciamiento, número de pisos: 2, y altura de entrepiso: 2.7m.
e. Se selecciona la opción "**Grid Only"** y luego "**OK".**

La figura 3.4, muestra la grilla que se ha definido referente a la geometría de los ejes de la estructura en las tres dimensiones conocidas: X, Y y Z.

Si es necesario hacer correcciones a las dimensiones de la grilla, éstas se pueden realizar, haciendo doble clic sobre los ejes de la grilla, y se despliega una pantalla que interactúa como una hoja electrónica muy parecida a Excel, en donde se puede hacer cualquier corrección, ya sea, en dimensión como en espaciamiento, y se logra una definición precisa de los ejes del modelo. Al dar clic en "**OK**", estas rectificaciones se hacen efectivas en el modelo.

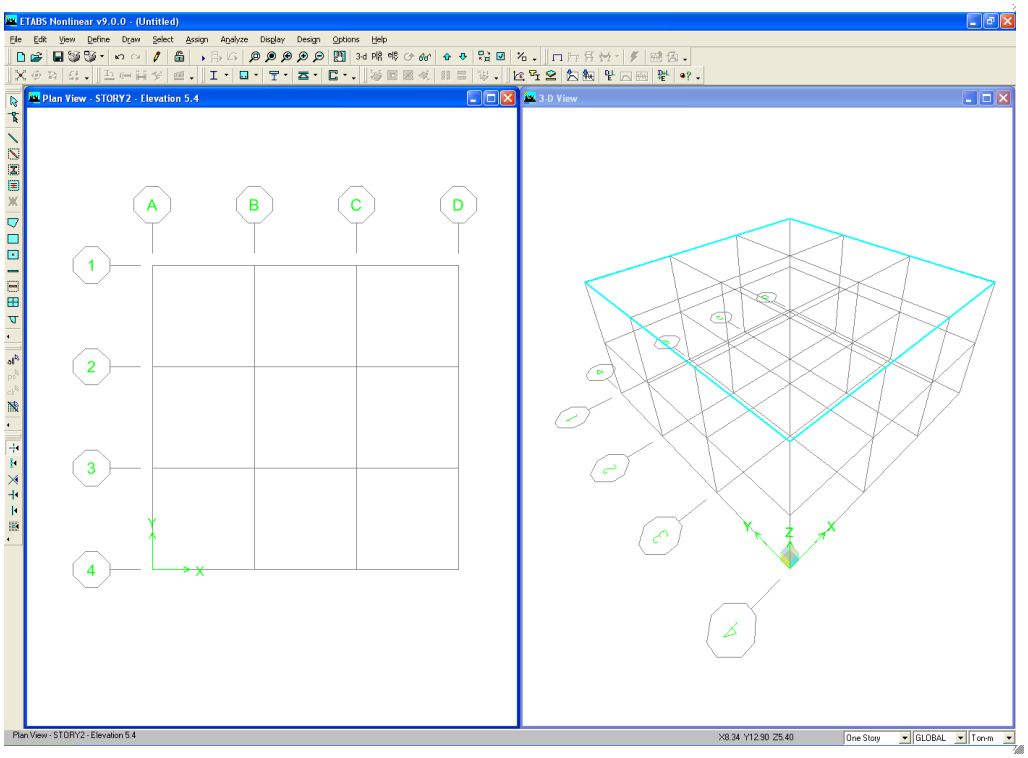


Figura 3.4 Grilla de la estructura planteada.

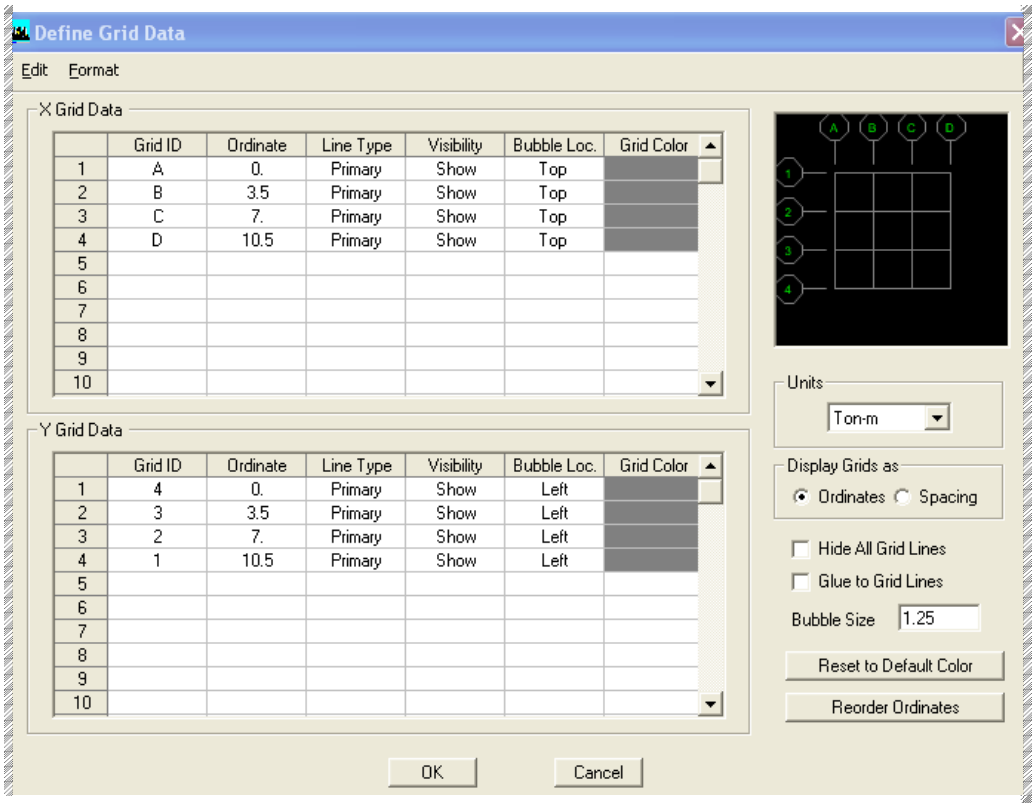


Figura 3.5 Formulario para correcciones en la grilla

3.3.1 DEFINICIÓN DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA.

Una vez que se ha precisado la grilla de la estructura, es necesario definir los materiales constitutivos de los elementos de ésta. La investigación hace referencia a estructuras de hormigón armado, es por esto que se deben definir cada uno de los elementos que proporcionan al programa los parámetros de diseño necesarios y en las unidades de medida coherentes.

En la barra principal del menú del programa se selecciona el botón "**Define>Material Properties"** y se despliega una pantalla en donde se elige el tipo de material, para este trabajo, es concreto, "**CONC**".

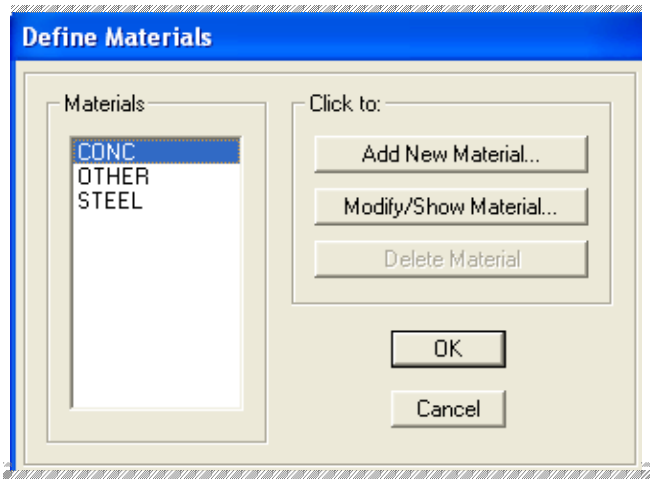


Figura 3.6. Formulario para definición del material

Para realizar modificaciones acerca de la calidad del concreto, se hace clic en "**Modif./Show Material…**" y se despliega la siguiente pantalla:

La figura 3.7, muestra las propiedades que constituyen el concreto armado que conforman las estructuras que aquí se analizan, con solo dar clic en cada caja de la pantalla, los datos pueden ser modificados, incluso la denominación del material para que pueda ser identificado con facilidad.

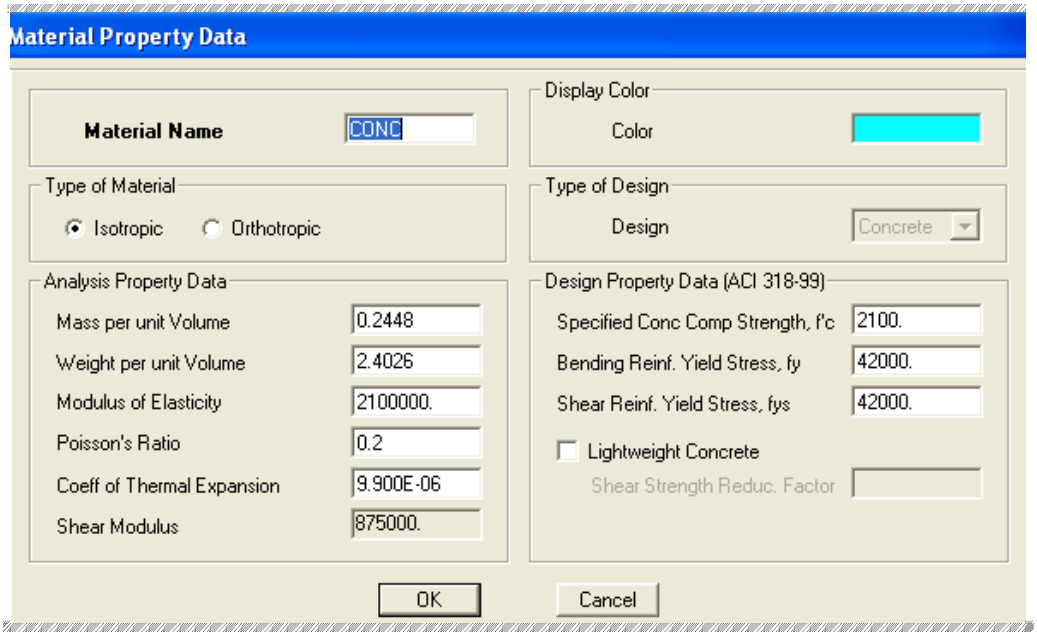


Figura 3.7. Formulario de propiedades del material.

3.3.2 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.

Para definir las secciones vigas, nervios y columnas que constituyen los pórticos de la estructura se procede de la siguiente manera:

a. En el menú principal se marca "**define>Frame Sections…**". Y se despliega el menú de la figura 3.8

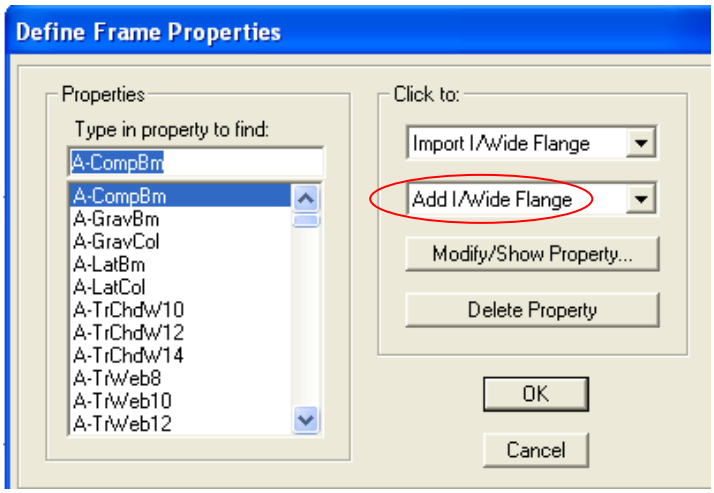


Figura 3.8 Propiedades de las secciones

b. En el cuadro de propiedades, se elimina las secciones existentes para crear secciones nuevas con las características que la estructura a analizar posee, esto se hace con la opción: "**Delete Property**".

c. Eliminadas las secciones que el programa propone, en la caja "**Add I/Wide Flange**", se escoge la opción "**Add Rectangular**" y se despliega la pantalla de modificación de elementos rectangulares.

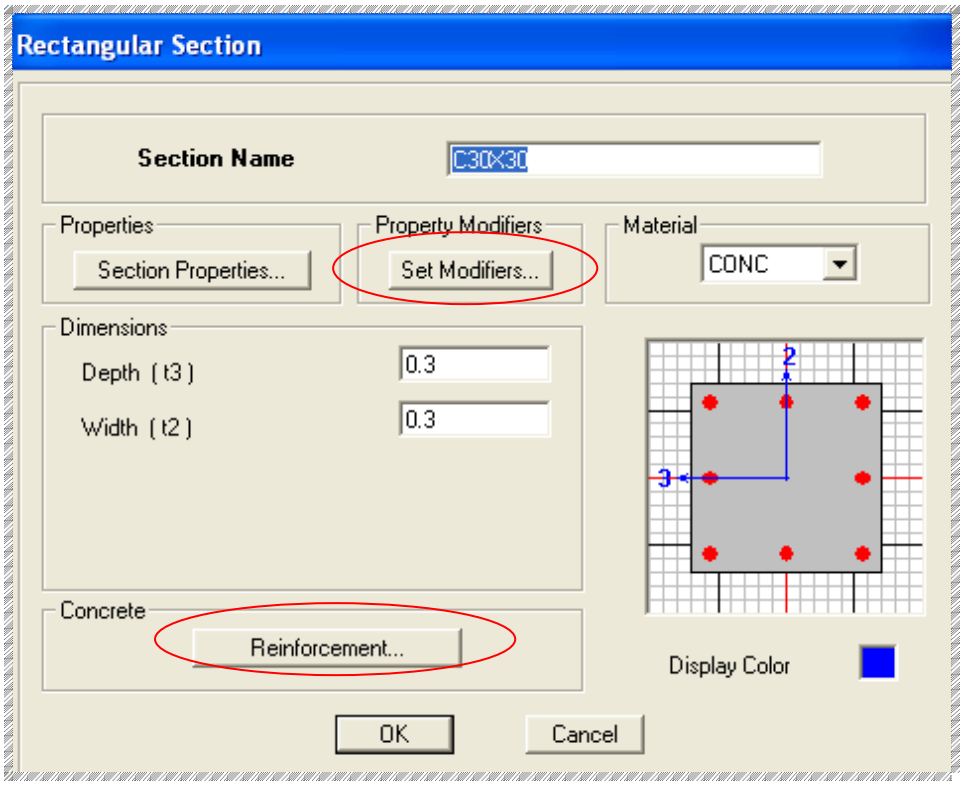


Figura 3.9 Modificación de elementos rectangulares

La figura 3.9, muestra el formulario para la modificación de elementos rectangulares, como aquí se define, se pueden realizar cambios en el nombre del elemento, el material que lo constituye, las dimensiones de la base (width), la altura (Depth), el color que lo representa en la pantalla, y variar las propiedades de cada elemento ya sea este, viga o columna de acuerdo a los requerimientos del código con el que se realiza el análisis, para el caso de esta memoria, CEC2001.

d. El código CEC 2001, nos indica que los elementos columnas, reduce su inercia en un 20% en los dos sentidos del elemento y las vigas el 50%, estos factores se toman en cuenta en "**Set Modifiers….**"

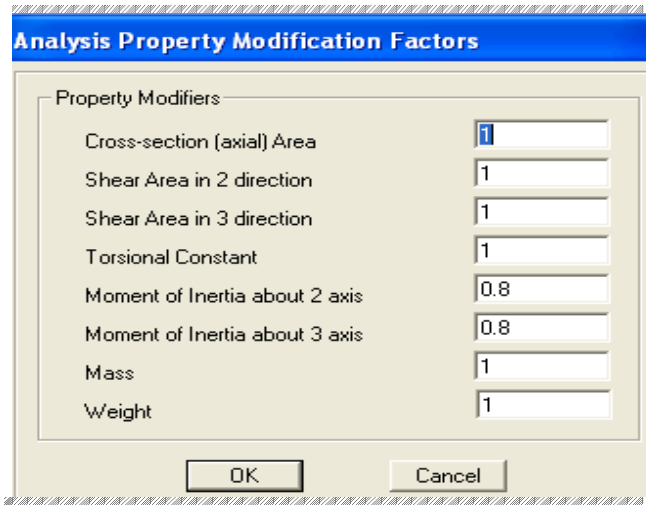


Figura 3.10 Factores de modificación de propiedades en elementos rectangulares

e. Para definir el tipo de elemento que se está proponiendo en el análisis, es necesario que el programa reconozca al elemento como tal, ya que no basta con dar el nombre, para esto, damos clic en "**Reinforcement..**"

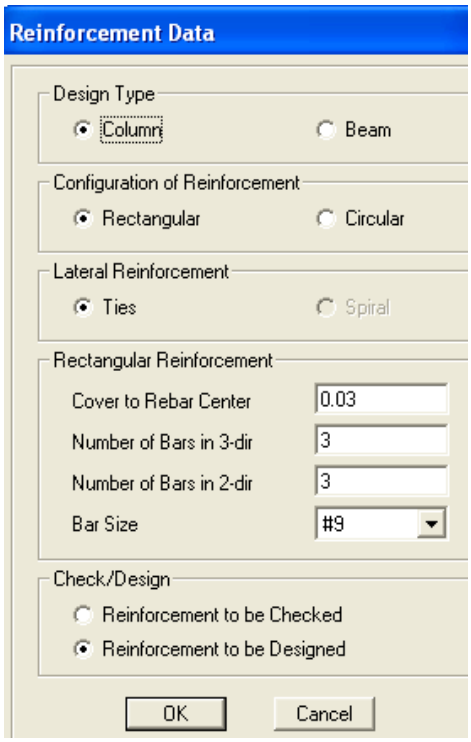


Figura 3.11. Datos del refuerzo

La figura 3.11, enseña el tipo de elemento que se va analizar, la forma de la sección, tipo de refuerzo lateral, recubrimiento y tipo de análisis sea este, chequeo o diseño.

Tomando en cuenta las consideraciones especiales en cada elemento, se realiza el mismo procedimiento en todos los elementos rectangulares, sean estos: vigas, nervios y columnas. Los nervios de la losa se definen como vigas de 10cm de base y 15cm de altura, es decir toman las mismas consideraciones de éstas.

Los nervios además se definen como elementos sin peso, pero si deben de tener masa, el peso de estos elementos se determinan como carga muerta, la masa se considera porque aporta al sismo. En todas las estructuras, deben quedar definidos los elementos rectangulares que la conforman, y esto se muestra en la figura 3.12.

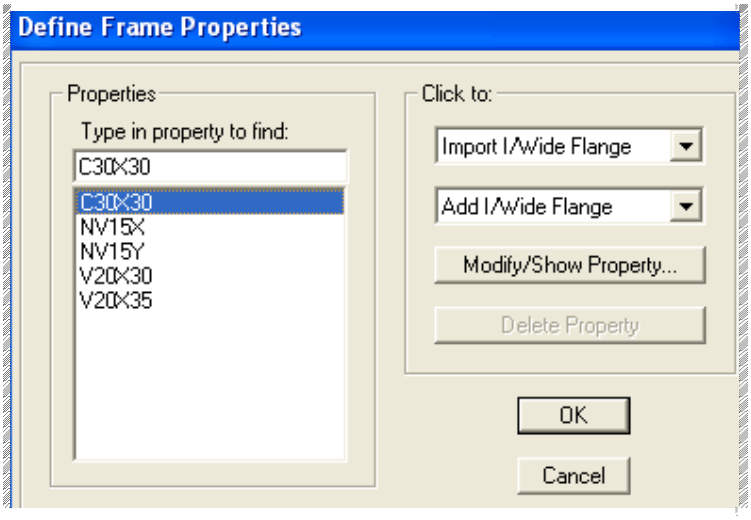


Figura 3.12 Secciones definidas en la estructura

Una vez que se han definido los elementos rectangulares, se especifica en el programa el elemento losa, esto, se realiza de la siguiente manera:

f. En el menú principal, "**Define/Wall/Slab/Deck Section ….**"

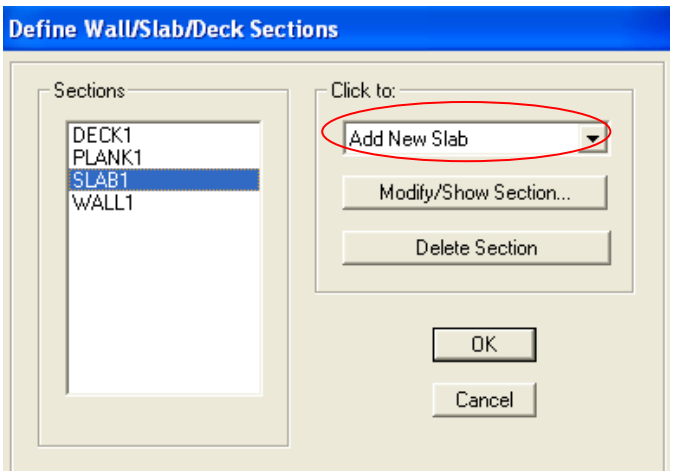


Figura 3.13 Formulario para definir el elemento losa

El elemento que se adhiere al análisis y que representa a la losa, es un "**Slab**", para ésto en la pantalla se marca "**Add New Slab**", y se despliega la pantalla que se muestra:

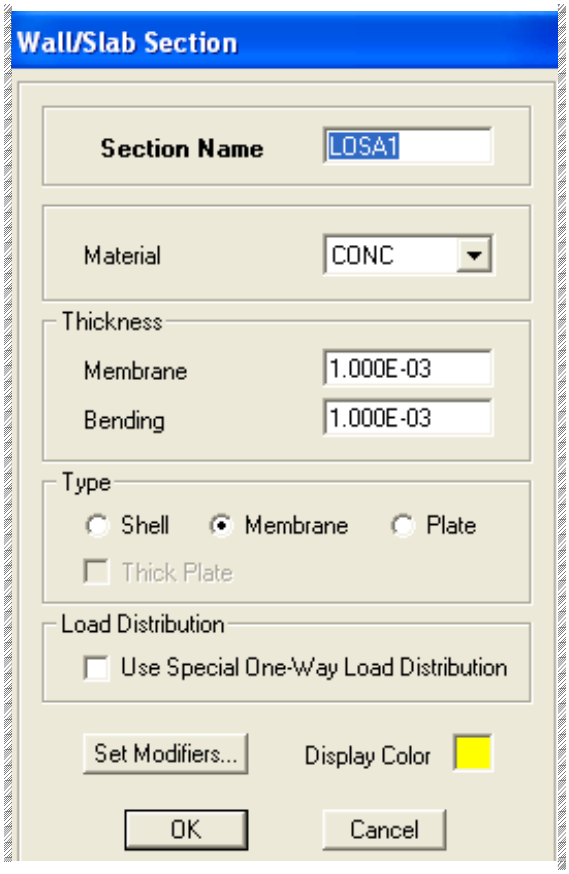


Figura 3.14 Propiedades del elemento losa

Las propiedades del elemento “losa”, se muestran en la figura 3.14, en este menú, se precisa el nombre del elemento, el material que lo constituye y el tipo de elemento para que el programa lo reconozca como tal, en este caso la losa es un elemento “**Membrane**” de 1mm de espesor. Si se hace clic en “**Set Modifiers…**” se tiene acceso a variar las propiedades del elemento.

3.3.3 ASIGNACIÓN DE LAS SECCIONES DE LOS ELEMENTOS.

Una vez que se han creado los elementos constitutivos de la estructura, es preciso que sean colocados en la grilla o base de los ejes del modelo, para esto Etabs se vale del siguiente procedimiento:

a. Se inicia ubicando las columnas en la grilla, y se hace clic en el ícono “**Create Columns in Region or at Click (Plan)**” y se despliega un menú de selección en donde debemos escoger el elemento C30x30 que especifica una columna cuadrada de 30cm de lado.

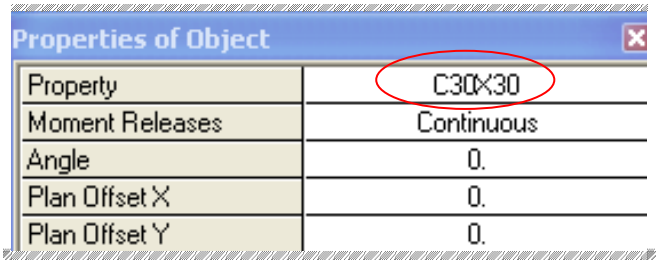


Figura 3.15 Formulario para escoger el elemento columna

b. Una vez que se ha escogido el elemento se marca el área en donde se colocarán los elementos y automáticamente éstos se visualizarán en pantalla y quedarán establecidos en la estructura.

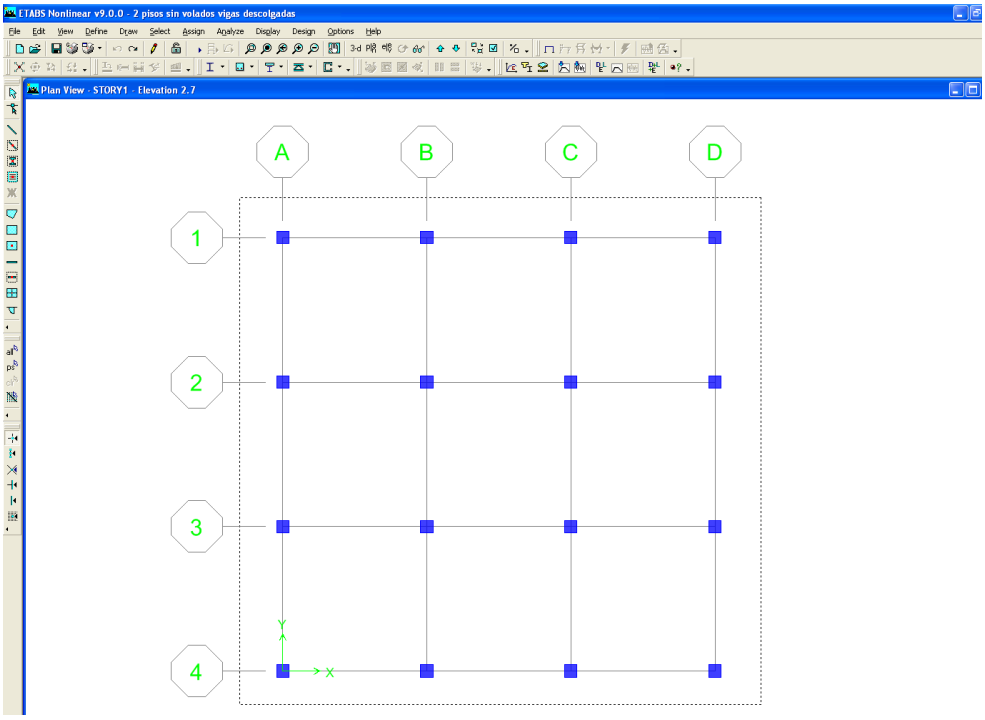


Figura 3.16. Colocación de columnas en la estructura

c. Del mismo modo se incluyen las vigas en la estructura, el icono que activa esta opción es "**Create lines in Region or at Clicks (Plan)",** al hacer clic sobre él, se visualiza el menú para escoger la sección de viga.

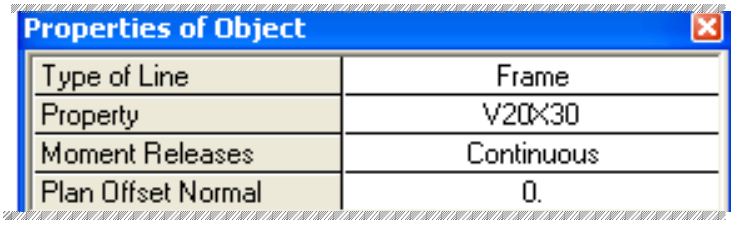


Figura 3.17 Formulario para escoger el elemento Viga

d. Seleccionada el tipo de viga que se colocará en la estructura se procede a marcar la región en donde se ubicarán las vigas y éstas se visualizan en la pantalla.

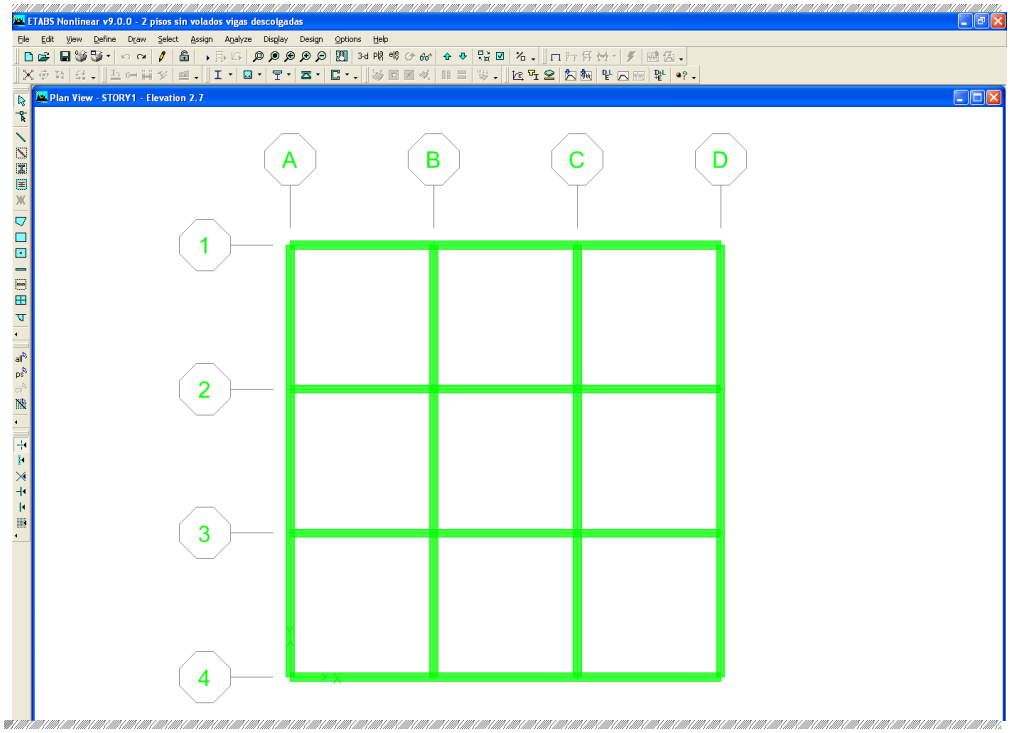


Figura 3.18. Colocación de Vigas en la Estructura

e. Ya definidas las columnas y vigas, se procede a colocar los nervios en la losa, ésto se realiza con el ícono "**Create Secondary Beams in Region or at Click (Plan)**" y se activa el siguiente menú:

f.

Properties of Object

Property	NV15X
Moment Releases	Pinned
Spacing	Max Spacing
Max Spacing	0.5
Approx. Orientation	Parallel to Y or R

Figura 3.19 Formulario para escoger los elementos Nervios

En este formulario se puede escoger el elemento nervio que se va a colocar en la losa en ambas direcciones de la misma, primero en la dirección X y luego en la dirección Y, con su espaciamiento respectivo entre nervios y paralelos al eje respectivo.

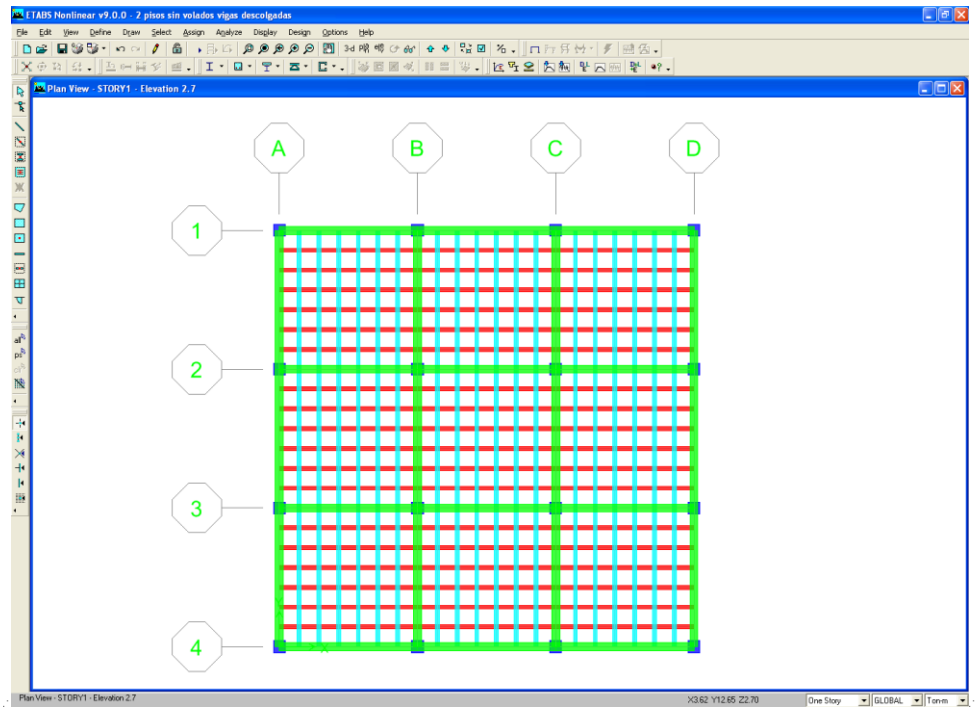
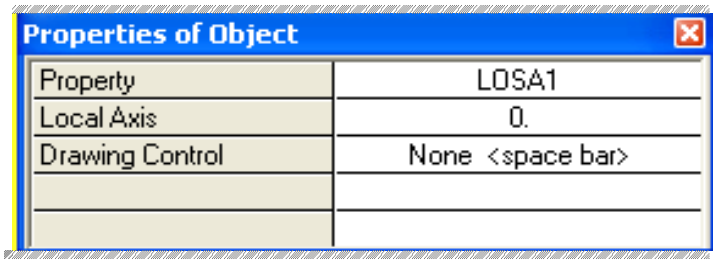


Figura 3.20. Columnas y nervios en la losa

g. Para colocar el elemento losa, se necesita dar clic en el ícono "**Draw Areas**", y se escoge el elemento losa que ha sido definido.



Properties of Object

Property	LOSA1
Local Axis	0.
Drawing Control	None <space bar>

Figura 3.21 Formulario para escoger el elemento losa

h. Una vez que se ha escogido el elemento losa respectivo, se procede a marcar las esquinas del área de la losa que se va a cubrir y automáticamente se visualiza el elemento en la estructura. Este elemento está creado en el eje y debe ser expandido hacia los bordes de las columnas para que la modelación sea real, siendo necesario seguir la secuencia de comandos siguientes, "**Edit > Expand/Shrink Areas**", y en el recuadro de diálogo, se colocará el valor que corresponde a esta expansión.

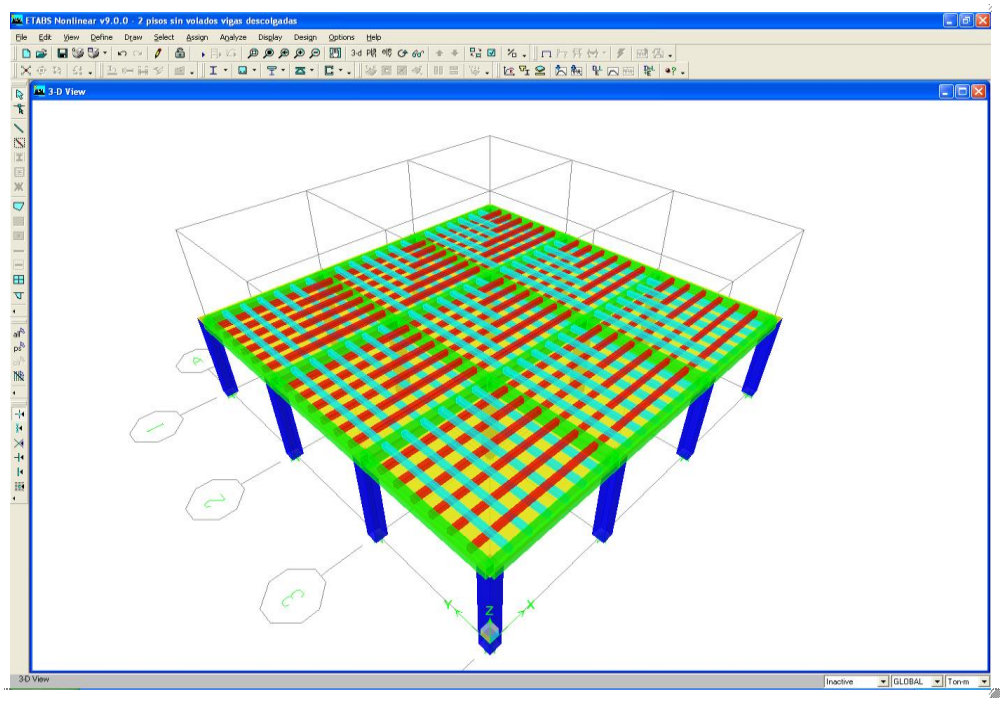


Figura 3.22. Primer Piso de la Estructura

Ya se ha terminado de definir y asignar secciones en el primer piso de la estructura, ahora es necesario realizar la segunda planta, para esto el programa hace uso de la opción "**Replícate**", ésta nos permite replicar secciones entre pisos de la estructura.

Después de seleccionar todos los elementos de la primera planta de la estructura, se usa el menú principal con la siguiente secuencia, **"Edit>replicate"** y automáticamente se despliega el formulario siguiente:

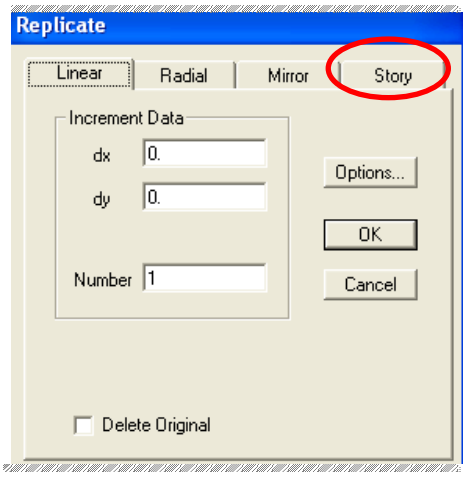


Figura 3.23 Formulario para replicar secciones

Se marca la sección "**Story**" y los pisos en donde se van a replicar las secciones seleccionadas, y automáticamente en la pantalla se nos muestra una replica en los pisos escogidos.

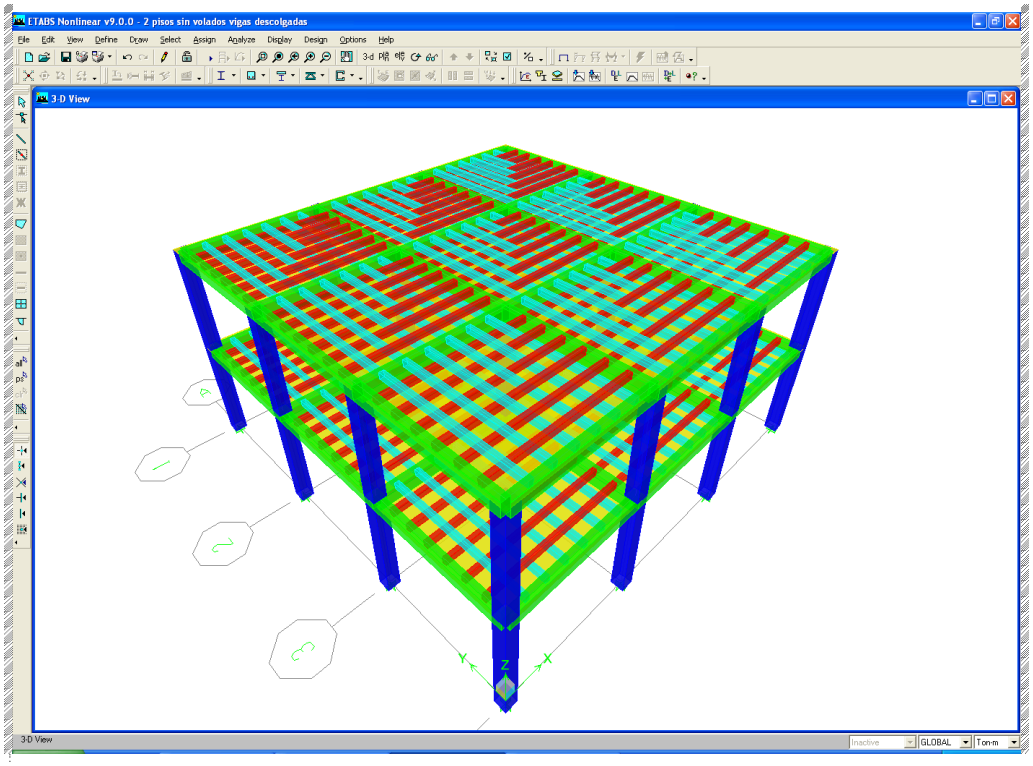


Figura 3.24 Vista tridimensional de la estructura

Cada uno de los elementos de la losa, deben estar agrupados en un solo conjunto, por tanto, es necesario que cada uno de los pisos tenga su propio "diafragma rígido", esto permite a Etabs definir el comportamiento de la losa como un todo.

Para lo que se empieza marcando el elemento losa al cual se van a conectar los elementos que la conforman y con la secuencia, "**Assign > Shell/Area > Diaphragms**", se escoge el elemento respectivo en el menú y éste queda asignado a la losa, asegurando que el conjunto trabaje como uno solo ante las acciones solicitadas. Este diafragma rígido, muestra además el centro de gravedad de la estructura.

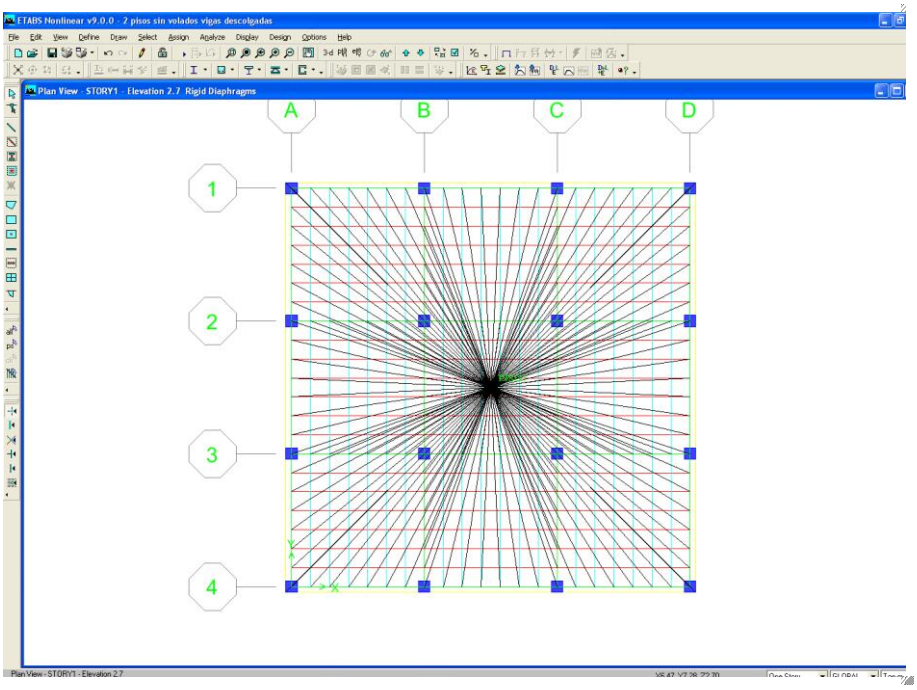


Figura 3.25 Asignación del diafragma rígido al piso

3.3.4 ASIGNACIÓN DE APOYOS

En los apoyos de las columnas, es importante dar restricciones, considerando que la estructura se encuentra empotrada en el suelo a través de la cimentación. Para ésto, en el nivel de la bases y, a través de las flechas de movimiento en la estructura , se procede a marcar los puntos en la base, y se les asigna la restricción a través de la secuencia: "**Assign > Joint/Point > Restraints (Supports)…**" y se presenta un menú con varias alternativas:

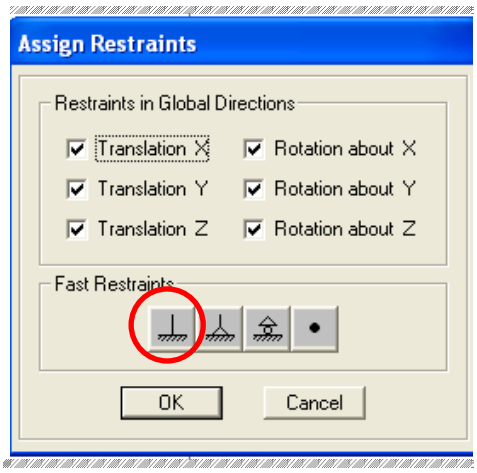


Figura 3.26. Restricciones en los Apoyos

Las restricciones que se le da a la estructura en sus apoyos, son empotramientos, es decir, la estructura está impedida de movimientos de traslación y rotación, esto se logra marcando el ícono respectivo y luego se visualiza esta restricción en el modelo.

3.3.5 ESTADOS DE CARGA

Para satisfacer requerimientos del código CEC 2001, y considerando las combinaciones de cargas que este usa, es necesario definir los estados de carga que soportará la estructura para el análisis.

La secuencia de comandos: "**Define > Static Load Cases**", permite tener acceso a un cuadro en donde se permite cargar al programa los estados de carga.

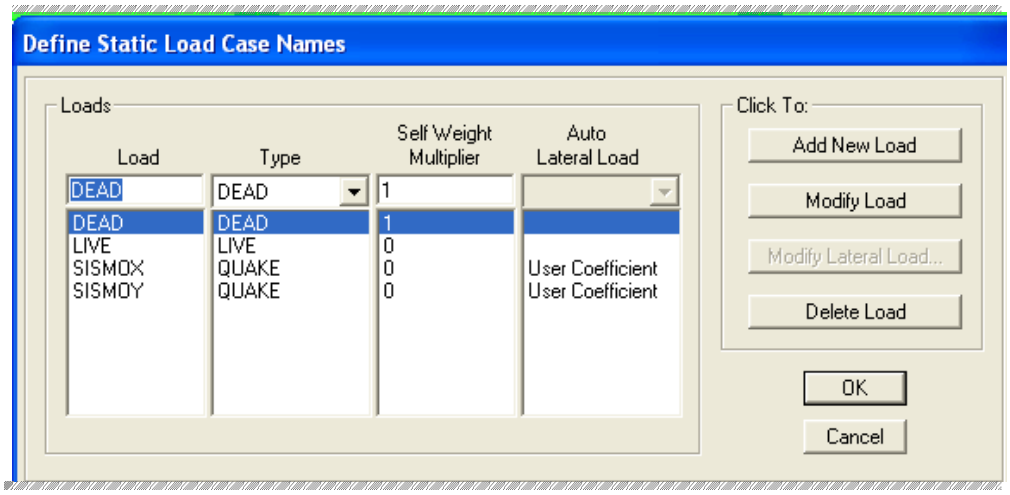


Figura 3.27 Estados de carga de la estructura

Como se nota en este cuadro, se permiten adherir los estados de carga que sean necesarios para el análisis estructural, e incluso modificarlos; se pueden cargar los diferentes tipos, como son carga muerta, carga viva, sismos, vientos, entre los más conocidos, con sus respectivos factores de análisis. En el estado de carga correspondiente al sismo, es necesario usar el coeficiente del cortante basal que afecta la estructura calculado en el capítulo 2 de esta investigación.

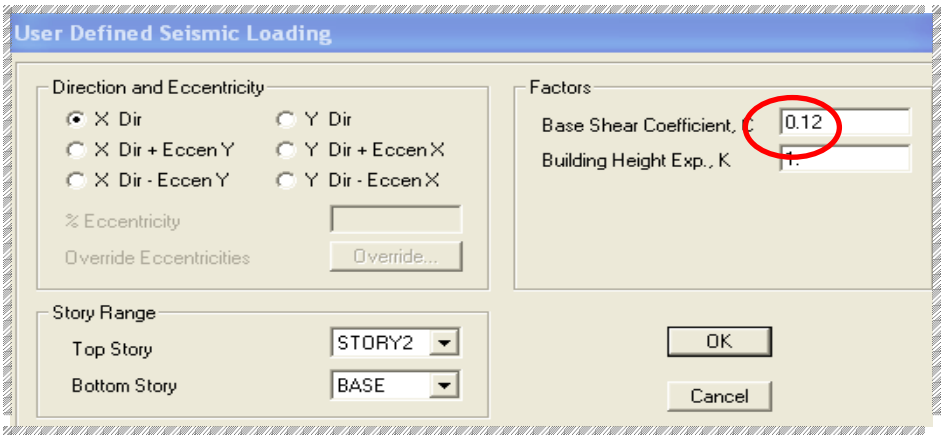


Figura 3.28. Menú para definir coeficientes sísmicos

En este cuadro, se muestra la dirección, en la que afectará el sismo a la estructura, valor del coeficiente de corte basal y el rango de acción de las propiedades escogidas, es decir los pisos a los que afectarán estos coeficientes; en esta memoria, estos factores afectan a la totalidad de la estructura. Es importante definir las combinaciones de carga que afectarán a la estructura, además, de una combinación envolvente que permita determinar parámetros de comparación para la obtención de la alternativa propuesta en el diseño de losas bidireccionales. Por tanto la secuencia de comandos, "**Define > Load Combinatios …** " permiten acceder a un submenú en donde se cargan las combinaciones establecidas con los respectivos factores en cada estado de carga.

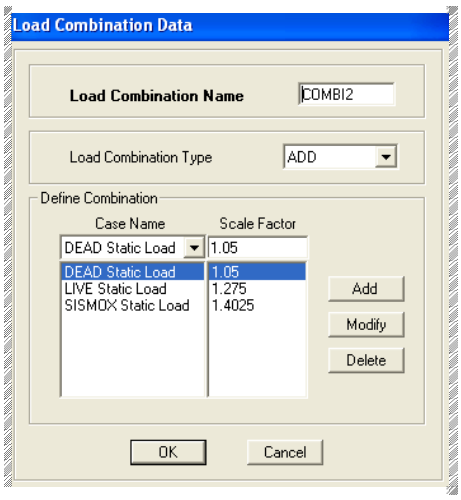


Figura 3.29 Menú de combinaciones de carga

Ya se han definido los estados de carga y las combinaciones entre éstos, pero no se han introducido los valores correspondientes a las cargas, para lo que se marcan los elementos losa de la estructura y a través de la secuencia de instrucciones: "**Assign > Shell/Area Load > Uniform**", se tiene acceso al menú de cargas.

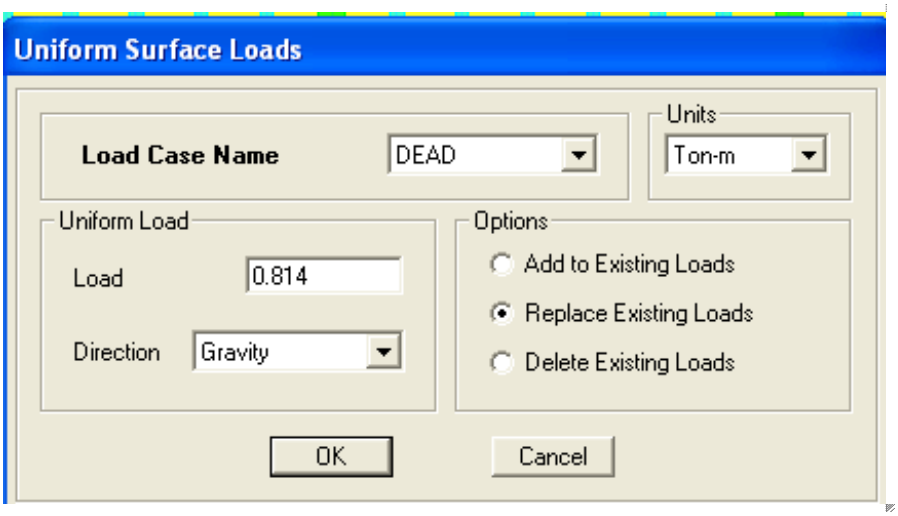


Figura 3.30 Menú de asignación de cargas.

El mismo procedimiento se aplica para cargar la carga viva. La carga sísmica, no debe cargarse en el modelo, porque se produce una duplicación de este valor, debido a que Etabs la determina con el coeficiente de corte basal introducido en el estado de carga sísmico.

3.3.6 PERFECCIONAMIENTO DE LA MODELACIÓN

Una vez que se han definido los parámetros para el análisis de la estructura, es necesario pulir el modelo para que este sea lo más real posible.

En este sentido, siguiendo la secuencia de comandos, "**Define > Mass Source**", el programa nos reporta un cuadro de diálogo en el cual se define la masa para la carga.

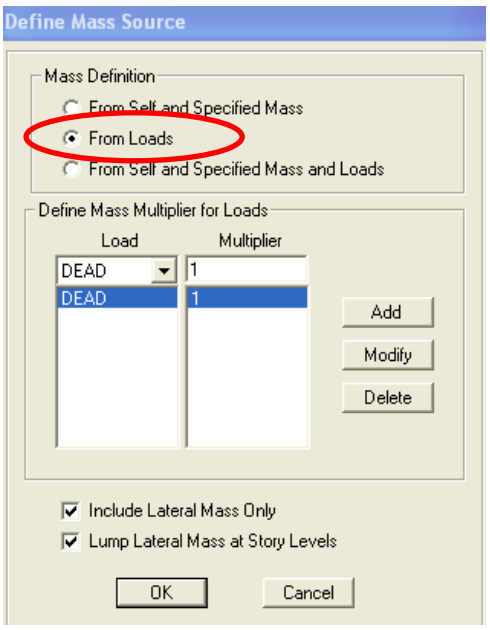


Figura 3.31 Definición de la masa en la carga.

Es importante darle masa a la carga muerta, por lo que se coloca el valor de 1 en el factor multiplicador, con esto la carga forma parte en la masa de la estructura.

Para que los nervios en la losa, sean elementos continuos y no generen efectos de empotramientos en las vigas a donde llegan, Etabs propone que la totalidad de éstos, debe ser liberada en sus conexiones, sin perjuicio de los elementos que en realidad están empotrados o tienen algún tipo de restricción.

Para lograr este efecto en la estructura es necesario marcar el ícono "**Select All**" así se marca toda la estructura, y a través de la secuencia de órdenes, "**Assign > Frame / Lines > Frame Releases….**", generando el programa el siguiente submenú:

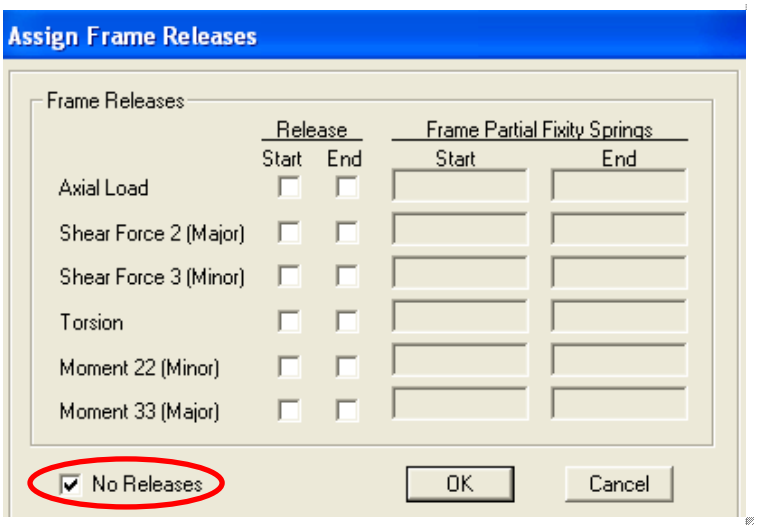


Figura 3.32 Formulario para liberar la estructura.

En este recuadro, se requiere que la estructura tenga una flecha en "**No Releases**", para que la orden sea ejecutada por el programa.

Para que los resultados que el programa propone para el análisis sean expresados en los ejes de la estructura, es preciso que éste conozca esta orden, para lo cual se requiere marcar toda la estructura con el ícono "**Select All",** y seguir la secuencia, "**Assign > Frame / Lines > End (Lenghs) Offsets**" para que se despliegue el recuadro en donde se define la distancia a la cual se requiere estos resultados, en esta investigación requerimos de valores al eje para poder compararlos con otros sistemas de estudio.

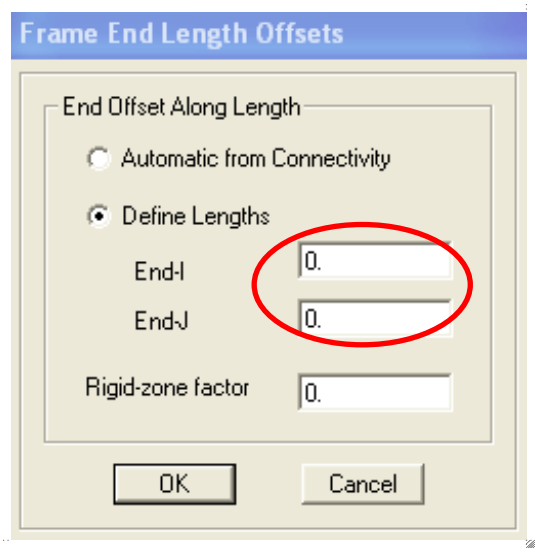


Figura 3.33Distancia de resultados al eje

En el recuadro de la figura 3.30, se muestra la definición de distancias en donde el programa Etabs establecerá los resultados, se debe notar, que desde el inicio hasta el final, se encuentra el valor de cero, este dato indica que el estudio es de eje a eje.

3.4 CORRIDA Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Ya se ha completado toda la modelación de la estructura, ahora es necesario correr el programa para que el análisis se realice y se puedan obtener resultados que permitan depurar la alternativa propuesta.

Se requiere hacer clic en el icono "**Run Analyisis**", y el programa empieza a ejecutar varios procesos internos que generan la solución de la estructura, si existe un error en la modelación, éste se reportará enseguida en la pantalla y finalizará el proceso de ejecución.

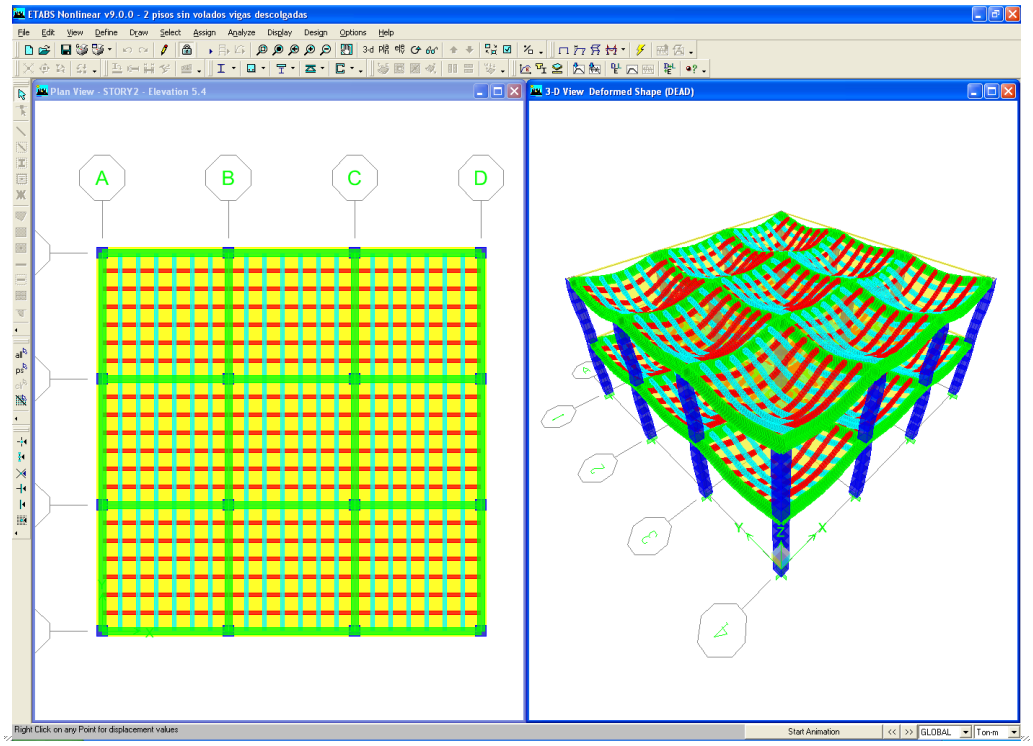


Figura 3.34Estructura deformada luego de la corregida

3.4.1 VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

Para visualizar los resultados de la estructura, se usa el ícono "**Show Member Forces / Stress Diagram**", se presiona la ceja del lado derecho y se escoge la opción "**Frame/Pier/Spandrel Forces**" y se despliega una pantalla en donde se puede escoger el análisis requerido y en la dirección que se solicita, teniendo en cuenta los ejes coordenados que rigen la geometría de la estructura.

En la figura 3.32, muestra el menú que permite escoger el tipo de diagrama, obsérvese que para la carga muerta, se obtendrán momentos alrededor del eje local 3, "**Moment 3-3**". Adicionalmente en el campo "**Options**" está marcado "**Fill Diagram**", con lo que se obtendrá el dibujo de momentos rellenados de color. Si se quita esta opción, podrá usar "**Show Values on Diagram**" con lo que se podrán ver los valores de los momentos. Al presionar "**OK**" obtendrá pantallas como la siguiente:

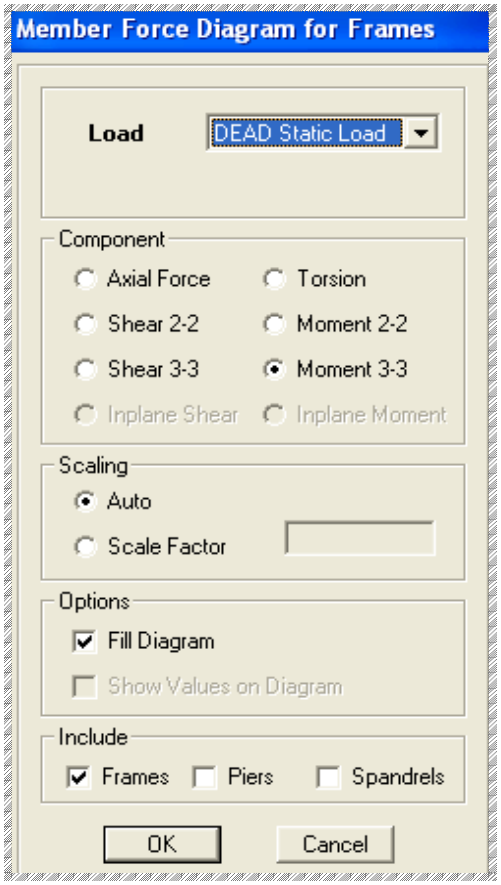


Figura 3.35 Menú para escoger el diagrama de resultados

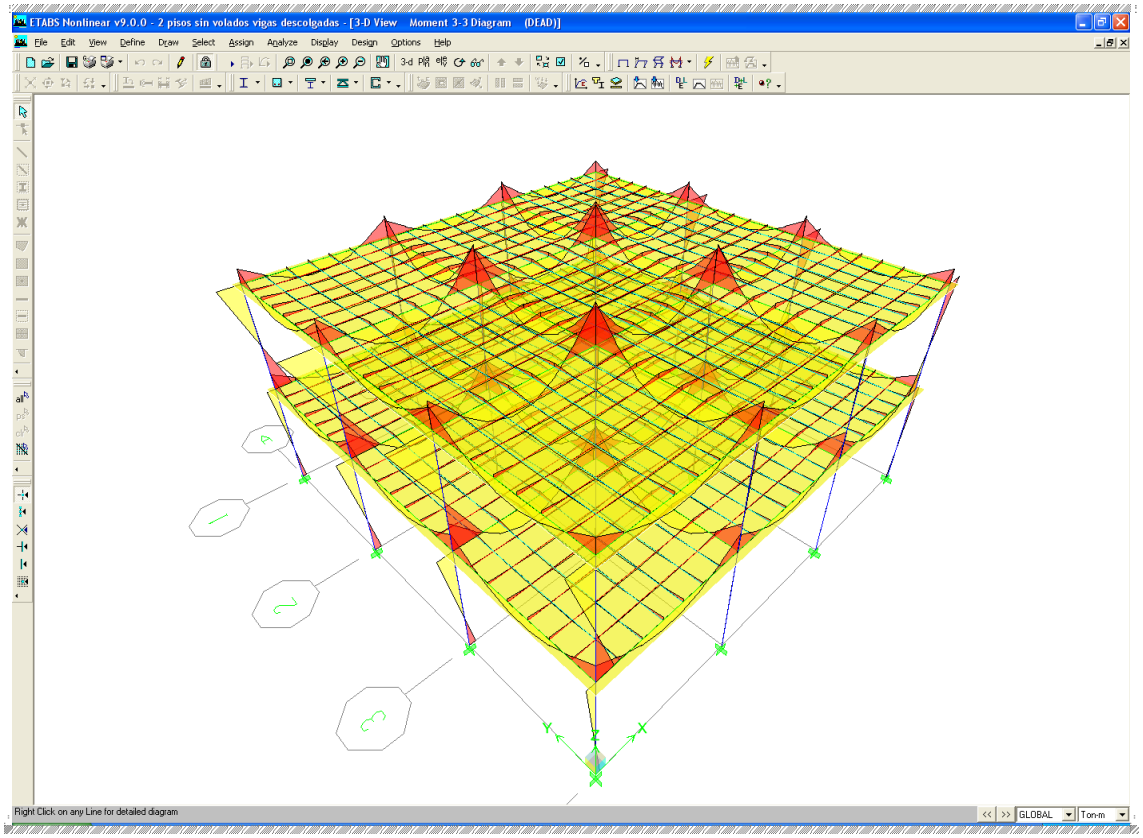


Figura 3.36 Diagrama de momentos en la estructura.

Etabs permite que los resultados que expresa, puedan ser mostrados de forma gráfica en diferentes vistas, ya sean en planta y en cada uno de los pórticos. Para esto, es factible movilizarse a través de la estructura usando los siguientes íconos:

Figura 3.37 Iconos de Movimiento en las Plantas

Con la ayuda de estos íconos se puede obtener los resultados de la siguiente forma:

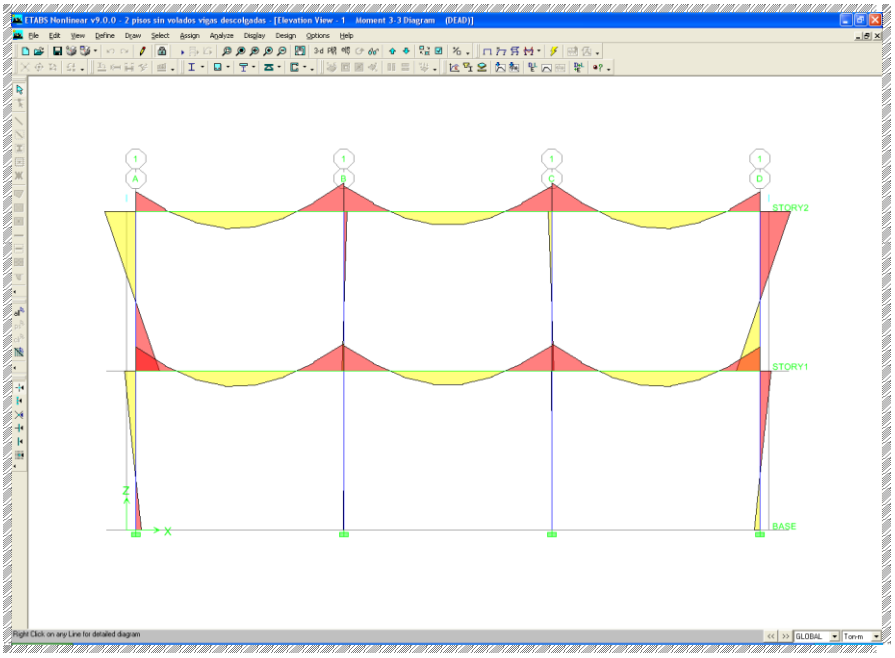


Figura 3.38 Resultados vistos en pórticos

Si se requiere tener resultados mas detallados de cada elemento de la estructura, se escoge el elemento y con el clic derecho del mouse, se obtendrá el siguiente submenú:

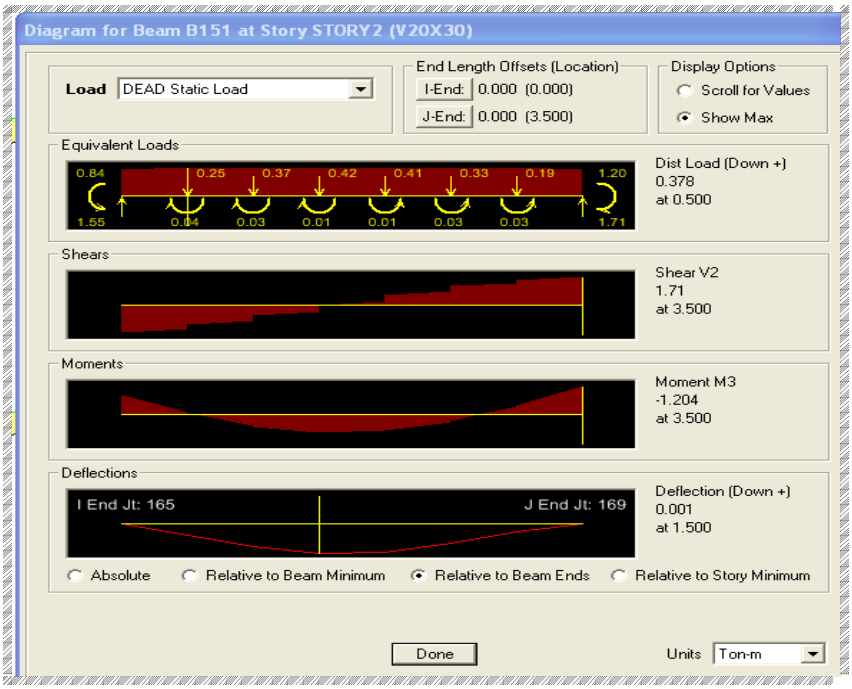


Figura 3.39 Detalle de resultados en los elementos.

3.4.2 DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para realizar el diseño se marca el ícono "**Star Concrete Design / Check of Structure**". Los valores que el programa remite son pequeños, debido a las unidades de análisis, para lo que se cambian las unidades a Ton–cm, y se observa el armado de los elementos.

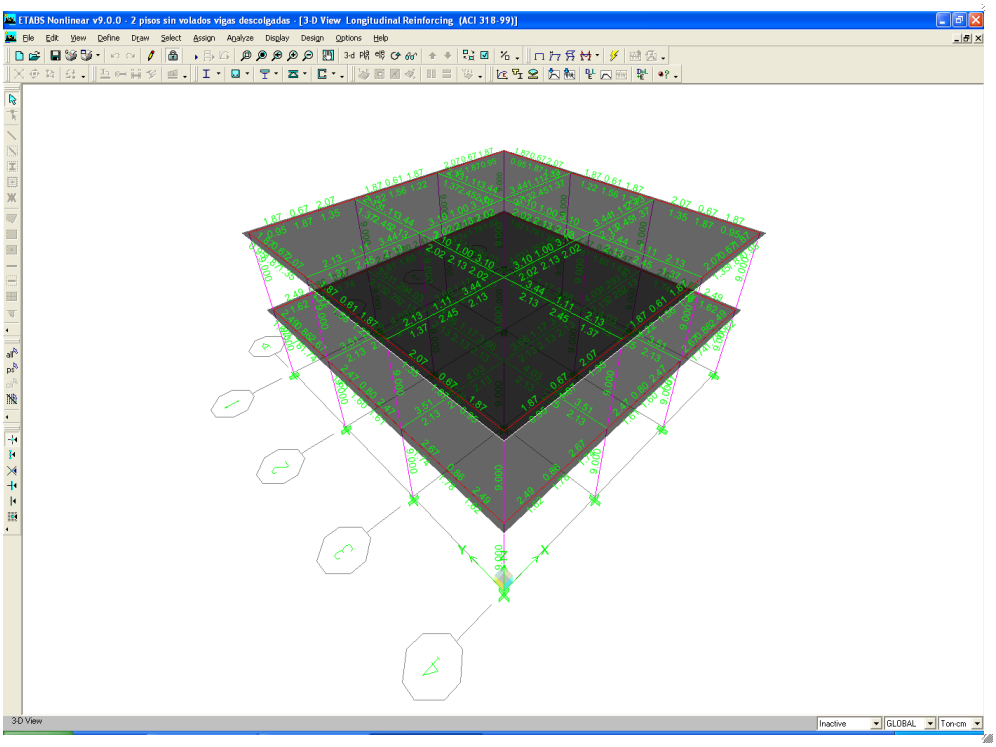
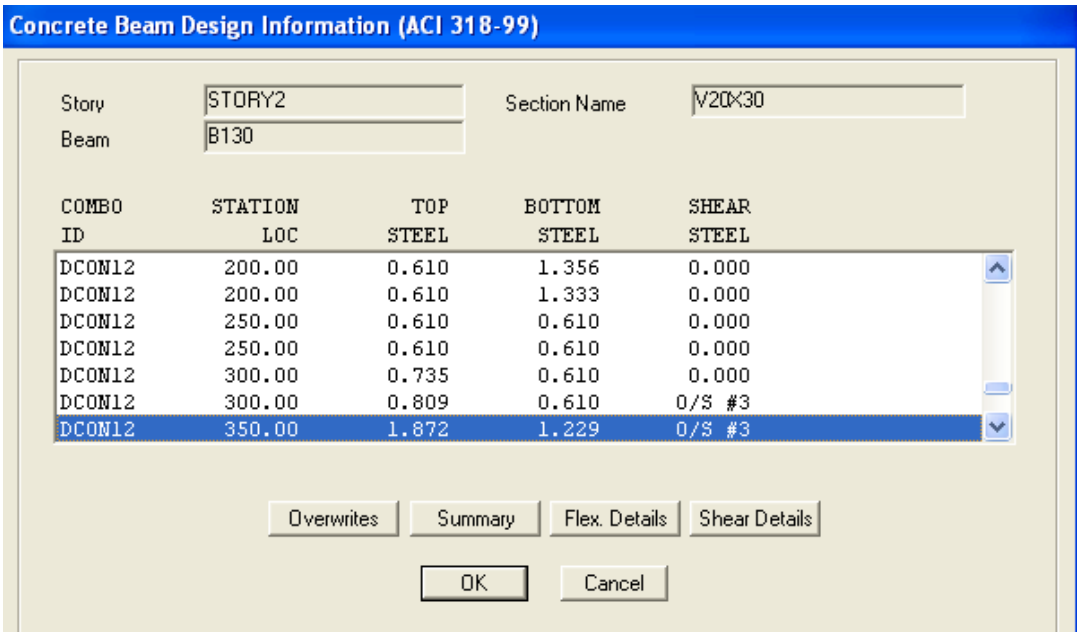


Figura 3.40 Estructura en etapa de diseño.

Para obtener información adicional, apunte con el mouse a uno de los elementos estructurales y al dar clic en el botón derecho del mismo, se obtendrá una ventana (ver figura 3.38), la cual nos permite verificar la información del elemento en cuanto sección, nombre, valores menores y mayores de acero para nuestro elemento.

La modelación, análisis y diseño con Etabs provee de gran cantidad de datos en archivos digitales, lo que puede causar confusión cuando se analizan 20 estructuras diferentes, es por esto que en el presente estudio, se han realizado tabulaciones directas de valores en hojas electrónicas de Excel, fáciles de procesar.



COMBO ID	STATION LOC	TOP STEEL	BOTTOM STEEL	SHEAR STEEL
DCON12	200.00	0.610	1.356	0.000
DCON12	200.00	0.610	1.333	0.000
DCON12	250.00	0.610	0.610	0.000
DCON12	250.00	0.610	0.610	0.000
DCON12	300.00	0.735	0.610	0.000
DCON12	300.00	0.809	0.610	O/S #3
DCON12	350.00	1.872	1.229	O/S #3

Figura 3.41 Información adicional de los elementos

En el Anexo D de esta investigación, se muestran las tablas de Excel con los datos del programa Etabs V9.0 que fueron tabulados manualmente.

CAPÍTULO IV

4. MÉTODO ALTERNATIVO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LOSAS BIDIRECCIONALES CON VIGAS.

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CÁLCULOS Y DISEÑOS.

Para iniciar el proceso de análisis de resultados, se debe tabular los valores de momentos en los estados de cargas descritos en el CEC2001:

- Carga Muerta (CM).
- Carga Viva (CV).
- Carga Sísmica (CS).

Los resultados de momentos, se obtienen a través de los programas computacionales basados en la teoría de Análisis Matricial de Estructuras,

método de los desplazamientos del Dr. Roberto Aguiar, descrita en el libro Análisis Matricial de Estructuras.
Como la norma determina, se calculan los momentos máximo maximorun de las tres combinaciones de los estados de carga:

- C1 = 1.4CM + 1.7CV
- C2 = 0.75 (1.4CM + 1.7CV + 1.87CS)
- C3 = 0.75 (1.4CM + 1.7CV - 1.87CS)

Con los resultados de estas combinaciones, se determina el momento envolvente, es decir, un valor numérico que satisfaga las condiciones de diseño requeridas.

Con los valores del momento de diseño, se procede a la aplicación del método del Pórtico Equivalente, obteniéndose el porcentaje de distribución de los momentos para la franjas de columna y franja de losa. Estos valores se encuentran tabulados en el anexo C.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS POR EL MÉTODO PROPUESTO.

4.2.1 LOSAS CON VIGAS DESCOLGADAS

Partiendo de un dimensionamiento de la losa y de la viga descolgada descrito en la figura 4.1:

:

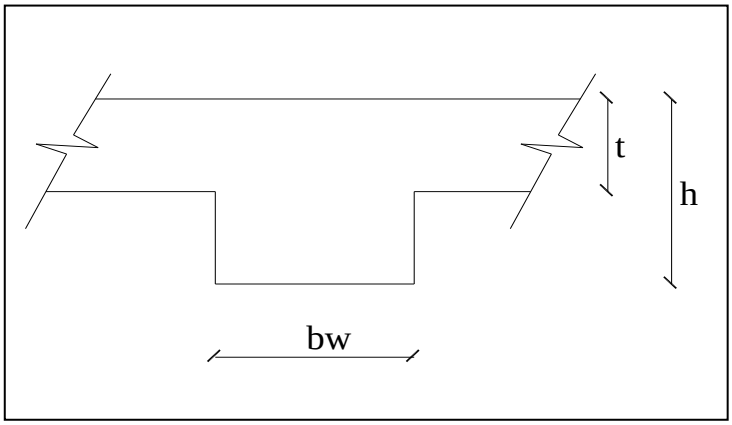


Figura 4.1.- Sección losa – viga descolgada

Se tiene:

bw : base de la viga.

t : altura de la losa. (Alivianada)

h : altura de la viga.

El Ingeniero Ernesto Pro, propone la siguiente distribución de momentos como resultado de su experiencia en el diseño de estructuras, y por comparación con otros métodos de distribución; reparte los momentos de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$M_{VIGA} = Mu \times \frac{h}{t+h} \qquad (4.1)$$

$$M_{LOSA} = Mu \times \frac{t}{t+h} \qquad (4.2)$$

El valor de “Mu”, corresponde al momento envolvente de diseño, el mismo que es distribuido de acuerdo a la aplicación de las fórmulas 4,1 y 4.2, obteniendo al final los porcentajes de distribución que actúan en las franjas de vigas y losa, correspondientes al pórtico de análisis.

Ahora bien, si se considera una losa de espesor t de 20cm, la cual, en la franja de columnas en uno de sus pórticos, aloja una viga de sección rectangular, cuya base bw es 20cm y la altura h es 30cm, al aplicar las fórmulas 4.1 y 4.2, se obtiene que, el porcentaje de distribución en la franja de columnas es de 60% y la franja de losa recibe el 40% restante del momento total que actúa en la sección. Nótese que la altura de la viga se mantiene en el rango de dos veces el alto de la losa.

Tabla 4.1.- Relación de alturas entre viga y losa

Viga (h)	Losa (t)	% Viga	% Losa
1	1/4t	80	20

1	1/3t	75	25
1	1/2t	66.67	33.33

4.2.2 LOSAS CON VIGAS BANDA.

Como se dijo anteriormente, las losas bidireccionales con vigas bandas, son un caso especial de las losas bidireccionales con vigas, que contienen vigas del mismo espesor de la losa, es por ésto que se incluyen en esta investigación.

El Ingeniero Hernán Estupiñán, propone para la distribución de momentos en losas con vigas bandas, asumir que la viga banda equivale a cuatro nervios de la losa, luego en el último momento (total) lo reparte proporcionalmente al número de nervios, chequeando al final que un 50% a 60% de la armadura total, tanto positiva como negativa, se encuentre en la franja de columnas.

Para el Ingeniero Ernesto Pro, esta teoría es básica para su análisis, pero reparte el momento de acuerdo a la tabla 4.2.

Tabla 4.2.- Porcentajes de distribución para losas con vigas banda

	% Franja	
Momento	Viga Banda	Losa
Negativo	50	50
Positivo	30 - 40	70 - 60

Se recomienda trabajar con valores promedios que se encuentran enmarcados en los límites propuestos.

En el anexo E, se detallan los valores obtenidos en las estructuras propuestas en este estudio, tanto para losas con vigas descolgadas como para losas planas.

4.3 DEPURACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA.

Si se considera la teoría del Pórtico Equivalente descrita en el CEC2001 y en el ACI, como un concepto probado en el diseño de edificaciones, la alternativa de cálculo propuesta se apega a las condiciones de esta teoría, con los porcentajes de distribución de momentos que se expone en las tablas 2.2 y 2.3

El programa estructural ETABS V9.0, no determina porcentajes de distribución, sino que hace un análisis por elementos finitos en una estructura tridimensional, determinando valores de momentos en cada viga y en cada nervio de la losa, facilitando un análisis completo de la misma.

La alternativa propuesta en esta memoria, hace una separación ficticia entre la losa y la viga (descolgadas/vigas banda), y se obtienen porcentajes de distribución diferentes en cada caso.

En las estructuras que están conformadas por losas bidireccionales con vigas descolgadas, se han obtenido porcentajes de distribución de los momentos actuantes y corresponden a pórticos exteriores o perimetrales y a pórticos centrales, como se nota en las siguientes tablas:

Tabla 4.3.- Porcentajes de distribución actuante en pórticos exteriores con vigas descolgadas (promedio de todas las estructuras)

	% Momento		% Armadura	
Método	Viga	Losa	Viga	Losa
ETABS	68.03	31.97	67.07	32.93
P. Equivalente	63.88	36.12	59.6	40.4
Propuesta.	63.4	36.6	75.88	24.12

Tabla 4.4.- Porcentaje de distribución actuante en pórticos interiores con vigas descolgadas (promedio de todas las estructuras).

	% Momento		% Armadura	
Método	Viga	Losa	Viga	Losa
ETABS	64.74	35.26	77.04	22.96
P. Equivalente	63.75	36.25	74.11	25.89
Propuesta.	67.02	32.98	87.76	12.24

Como muestran las tablas 4.3 y 4.4, se han obtenido las relaciones de participación de los momentos en las estructuras de uno a cinco pisos. Se puede notar al hacer una revisión de los porcentajes de momentos que actúan en las vigas, que los valores son muy parecidos, al hacer una comparación entre los métodos estandarizados y la propuesta de esta investigación

Para las losas bidireccionales con vigas banda o mal llamadas losas planas, se ha realizado una comparación similar a la realizada en losas con vigas descolgadas, pero en estos casos hay que tener una consideración diferente al

momento de interpretar los datos, toda vez que la alternativa que este estudio muestra, plantea porcentajes de distribución, los mismos que se expresan en la tabla 4.2.

Tabla 4.5.- Porcentajes de distribución actuante en pórticos con vigas bandas (Promedio de todas las estructuras)

	% Momento		
	Momentos	% Viga	% Losa
ETABS	M(+)	68	32
	M(-)	70	30
P. Equivalente	M(+)	51	49
	M(-)	71	29
Propuesta	M(+)	35	65
	M(-)	50	50

La tabla 4.5 muestra, los porcentajes de distribución en los elementos de las losas bidireccionales con vigas bandas, se nota que el programa Etabs hace una distribución homogénea de momentos, tanto positivos como negativos, concentrando el 70% del momento total en la viga, mientras que el 30% lo distribuye en la losa. El método del Pórtico Equivalente, distribuye en partes iguales el momento positivo y el momento negativo es absorbido en un 70% por la viga.

La alternativa propuesta hace una distribución de momentos que garantiza que el trabajo de los elementos viga y losa sea conjunto, asegurando que el 78% del momento total de diseño se concentre en la franja de columnas.

En los pórticos en donde no hay continuidad de las vigas, se presenta un efecto de simple apoyo de la losa, muy parecido a cuando se tiene losas apoyadas sobre muros o en el caso que las columnas tengan una sección pequeña en relación a la viga, la teoría del pórtico equivalente sugiere en la tabla 2.2 que el momento negativo exterior del pórtico, sea soportado en un 100% por la franja de columnas para contrarrestar esta acción. La propuesta alternativa de distribución de momentos, toma este concepto para solucionar este problema, pero, deja a criterio del diseñador la aplicación del porcentaje de distribución en estos elementos.

En los volados se recomienda que un 20% del momento de diseño (incluye sismo), sea contrarrestado por la viga con armadura positiva y negativa,

adicionalmente deberá tener al borde un nervio o vigueta de repartición de cargas, y el 80% restante del momento de diseño, será absorbido por la losa.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Ya se han definido los parámetros de la investigación "**Losas Bidireccionales con Vigas, Otra Alternativa de Cálculo**", y concordando con el objetivo principal del presente estudio, se pone a consideración esta nueva propuesta de análisis y diseño de losas bidireccionales con vigas y para completar el mismo, a continuación se exponen las conclusiones y recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES

- El estudio de esta alternativa de diseño, ha permitido determinar el Método de Distribución de Momentos para Losas Bidireccionales con Vigas, el mismo que es aplicado en losas con vigas descolgadas y "losas con vigas banda", de una manera sencilla y fácil de aplicar en las estructuras, no solo para trabajos de escritorio, sino que permite la solución de problemas en obra en lo referente a la distribución de momentos y armadura en las losas.

- Para aplicar este método, en losas bidireccionales con vigas descolgadas, se requiere un análisis básico en los pórticos que conforman la estructura y a través de los momentos de diseño se aplican

las siguientes expresiones tanto en momentos negativos como en los positivos:

$$M_{VIGA} = Mu \times \frac{h}{t+h} \qquad\qquad M_{LOSA} = Mu \times \frac{t}{t+h}$$

En donde “Mu”, corresponde al momento envolvente o momento de diseño, “h” corresponde a la altura de la viga incluida la losa, y “t” es la altura de la losa.

- Para la relación de alturas entre losa y viga de 1 a 2, el porcentaje mínimo de distribución de momentos en losas bidireccionales con vigas descolgadas es de 67% para la viga y 33% en la losa.

Tabla 5.1.- Relación de alturas entre viga y losa

Viga (h)	Losa (t)	% Viga	% Losa
1	1/5t	83.33	16.67
1	1/4t	80	20
1	1/3t	75	25
1	1/2t	66.67	33.33

- Las fórmulas que determinan la distribución de los momentos en las losas con vigas descolgadas, dependen exclusivamente de las secciones del conjunto viga-losa, en la sección respectiva de análisis.

- Para la aplicación de este método en las llamadas “losas con vigas banda”, se considera que éstas, son un caso especial de las losas con vigas, en donde la viga tiene el mismo espesor que la losa. Eso hace que el método analizado determine porcentajes de distribución de momentos que afectan a los momentos de diseño determinados en el análisis estructural, los mismos que son los siguientes:

Tabla 5.2.- Porcentajes de distribución para “losa con vigas banda”

	% Franja	
Momento	Viga Banda	Losa
Negativo	50	50
Positivo	40	60

- En los volados, el método especifica el aporte del 20% del momento último, incluido sismo a la viga que está soportando el elemento y el 80% de este se reparte en la losa. Este 20% es un aporte al porcentaje de momento que esta viga está soportando de acuerdo a la continuidad en la estructura.

- Para comprobar este método de distribución de momentos se ha realizado el estudio en 20 estructuras de hormigón armado, realizando una comparación de los resultados entre el método del Pórtico Equivalente descrito en el ACI y CEC2001, el programa ETABS V9.0 que usa la teoría de elementos finitos y la propuesta de investigación, y se ha llegado a los resultados ya expuestos.

- Para obtener el momento de diseño o momento envolvente, en las diferentes estructuras, se realizan las diferentes combinaciones de cargas, sean estas, muertas, vivas, y sísmicas, lo cual está descrito en el CEC2001, por lo que se puede afirmar que, en la distribución de momentos que este método describe, el conjunto viga-losa, tiene capacidad sísmica, lo cual es algo novedoso, debido a que en la teoría de losas estas estructuras solo se diseñan para cargas verticales.

- Etabs V9.0, concentra porcentaje de momento en las vigas, esto se evidencia al observar los porcentajes de distribución en estos elementos.

- La teoría del Pórtico Equivalente enunciada en el ACI y CEC2001, provee de un método muy elaborado para el análisis y cálculo de losas,

dada la gran cantidad de factores que en ella intervienen. Su aplicación es limitada por este motivo.

- Transformar una estructura tridimensional en una serie de pórticos bidimensionales, como expresa la teoría del pórtico equivalente, hace de ésta, una teoría que no se apega a la realidad de la estructura, más aún si para cada losa, se aísla el sistema con empotramientos en las columnas que a ella convergen.

5.2 RECOMENDACIONES

- El predimensionamiento en estructuras de hormigón armado es importante y se recomienda realizar este procedimiento para que el diseñador tenga una visión clara desde el inicio de la estructura a analizar.

- El uso de programas estructurales como ETABS para el diseño de losas, sugiere que el diseñador no sea solo operador del programa, sino que se recomienda revisar el concepto estructural de los elementos que intervienen, para interpretar los resultados que este programa entrega, ya que al analizarlos, parecería que este software maneja losas con vigas asumiendo losas macizas, y en nuestro medio las losas alivianadas son muy utilizadas, por lo que el calculista manejará con criterio propio estos resultados.

- Se recomienda la aplicación de este método de distribución de momentos en losas bidireccionales sobre vigas, a estructuras cuya altura de viga, sea dos veces la altura de la losa.

BIBLIOGRAFIA

- JIMÉNEZ MONTOYA Pedro, GARCÍA MESEGUER Álvaro, MORÁN CABRÉ Francisco, “Hormigón Armado”, 14ª Edición, Editorial Gustavo Pili, SA, Barcelona 2000.

- McCORMAC Jack, “Diseño de Concreto Reforzado”, 5ª Edición, Editorial Alfaomega, México 2005.

- GONZALES CUEVAS Oscar, ROBLES Francisco, CASILLAS Juan, DÍAZ DE COSSIO Roger, “Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado”, Edición 1994, Editorial Limusa, México.

- ARTHUR H. Nilson, WINTER George, “Diseño de Estructuras de Concreto”, Undécima Edición, Editorial McGRAW-HILL, 1994.

- MORALES Morales Roberto, “Diseño de Concreto Armado”, Primera Edición, Fondo Editorial ICG, Mayo 2002.

- AGUIAR FALCONI Roberto,”Análisis Matricial de Estructuras”, Editorial ESPE, Ecuador 1995.

- PLACENCIA Patricio, Apuntes del curso “Diseño Sismorresistente de Edificios con Vigas Banda”, CICP, Abril 1999.

- ZÚÑIGA GALLEGOS Jorge, Apuntes de Tecnología de la Construcción, ESPE.

- CODIDO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN 2001.

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario (ACI 318S-05) , Versión en Español y en sistema métrico.

ANEXOS