



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE CIMENTACIONES RETÍCULARES SOBRE SUELOS
EXPANSIVOS MEDIANTE EVENTOS ALEATORIOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

ALEJANDRO CLEMENTE CHÁVEZ

DIRIGIDA POR

DR. JAIME HORTA RANGEL

Centro Universitario Querétaro, Qro. México, 2004.

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO



Acuerdo **999/04**
22 de marzo del 2004

C. ALEJANDRO CLEMENTE CHÁVEZ

Pasante de Ingeniería Civil
Presente,

Con relación a su solicitud enviada al H. Consejo Académico de la Facultad en el cual solicita autorización para titularse por la opción de **tesis individual**, me permito informarle que en sesión ordinaria del 22 de marzo del año en curso, este Cuerpo Colegiado, acordó autorizar la opción de titulación y deberá trabajar con el tema "**Análisis de cimentaciones reticulares sobre suelos expansivos mediante eventos aleatorios**", bajo la dirección del Dr. Jaime Horta Rangel.

El contenido aceptado por el H. Consejo Académico es el siguiente:

CONTENIDO:

- 1. PROTOCOLO DE PROYECTO**
 - 1.1. Antecedentes
 - 1.2. Fundamentación Teórica
 - 1.3. Objetivos
 - 1.4. Metodología
- 2. MARCO TEÓRICO**
 - 2.1 Aspectos fundamentales del suelo
 - 2.1.1 Minerales Arcillosos
 - 2.1.2 Estructura Laminar
 - 2.1.3 Familias Principales de los Minerales Arcillosos
 - 2.1.4 Interacción de las Partículas de Arcilla
 - 2.1.5 Características de las Arcillas
 - 2.2. Arcillas Expansivas
 - 2.2.1. Métodos de identificación del Grado de Expansividad
 - 2.2.2. Comportamiento de las Arcillas ante Construcciones Ligeras
 - 2.3. Cimentaciones
 - 2.3.1. Generalidades
 - 2.3.2. Definición de Cimentación
 - 2.3.3. Finalidad de la Cimentación
 - 2.3.4. Tipos de Cimentaciones
 - 2.3.5. Métodos de Análisis
 - 2.3.6. Recomendaciones de Diseño
- 3. METODOLOGÍA**
 - 3.1 Descripción de Problema
 - 3.2 Planteamiento de Solución
- 4. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS**
 - 4.1 Aspectos Teóricos
 - 4.1.1. Ecuación General de Análisis



- 4.1.2. Estructuras Fundamentales
- 4.1.3. Derivación de las Matrices Estructurales

- 4.2 Programa ANSYS
- 4.3 BEAM 44

5. APLICACIÓN DEL MÉTODO (EJEMPLO)

- 5.1 Descripción
- 5.2 Proyecto Arquitectónico
- 5.3 Bajada de Cargas
- 5.4 Discretización de la Geometría de la Cimentación, a base de Coordenadas
- 5.5 Captura del Modelo en el Programa ANSYS
- 5.6 Solución
- 5.7 Asignación de Variables
- 5.8 Programa
- 5.9 Corrida del Programa (RESULTADOS)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bowles Joseph E. (1982), Propiedades geofísicas de los suelos, McGraw-Hill.
 Castillo M.H., Análisis y Diseño Estructural, Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México. 1ª. Ed. 1973.
 Crespo Villalaz Carlos (1999), Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 4ª. Ed. Limusa.
 De Buen L.H.O., Apuntes de Diseño Estructural, UNAM. División de Ing. Civil. Topografía y Geodésica., México 1960.
 Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso (1999), Mecánica de Suelos Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos, 3ª. Ed. Limusa.
 Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso (2000), Mecánica de Suelos Tomo 2, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos, 2ª. Ed. Limusa.
 Meli Piralla Roberto (2001), Diseño Estructural, 2ª. Ed. Limusa.
 Peck B. Ralph, Hanson Walter E. y Thornburn Thomas H. (1983), Ingeniería de Cimentaciones, 2a. Ed. Limusa.
 Sowers George B. Y Sowers George F. (1990), Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Sexta Reimpresión. Ed. Limusa.
 Tutorial Software ANSYS versión 6.0 USA Copyright 2002 SAS IP, Inc. All rights reserved.
 Zepeda Garrido José Alfredo (1986), Cimentaciones sobre Arcillas Expansivas, UAQ.

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Facultad, en el sentido de que antes del Examen Profesional deberá cumplir con los requisitos de nuestra Legislación y deberá imprimir el presente oficio en todos los ejemplares de su tesis.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente

"EL INGENIO PARA CREAR, NO PARA DESTRUIR"

GRSG
M.I. Gerardo René Serrano Gutiérrez

Director de la Facultad

c.c.p. archivo.

*GRSG/RRPV/img.



C.U., 17 de mayo del 2004

M. en I. Gerardo René Serrano Gutiérrez
Director de la Facultad de
Ingeniería de la UAQ
Presente:

Por este conducto me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada **“Análisis de Cimentaciones Reticulares sobre suelos Expansivos mediante eventos aleatorios”** del pasante de la licenciatura de Ingeniería Civil, Alejandro Clemente Chávez, de acuerdo al artículo 20 inciso h) del Reglamento de Titulación vigente.

Emito mi **Voto Aprobatorio**.

Atentamente,
“EL INGENIO PARA CREAR, NO PARA DESTRUIR”

Dr. Jaime Horta Rangel
Director de Tesis

c.c Archivo
*sar



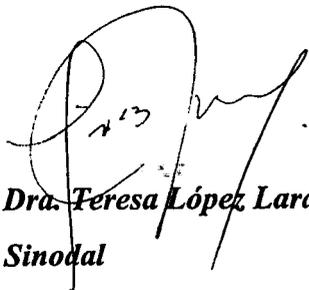
C.U., 23 de julio de 2004

**H. CONSEJO ACADÉMICO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
P R E S E N T E**

Me permito comunicar a este Órgano Colegiado que una vez revisada la tesis titulada "ANÁLISIS DE CIMENTACIONES RETICULARES SOBRE SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE EVENTOS ALEATORIOS", del pasante de Ingeniería Civil, Alejandro Clemente Chávez, emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente

"El Ingenio para Crear, no para Destruir"



Dra. Teresa López Lara
Sinodal



CU., 17 de mayo del 2004

**H. CONSEJO ACADÉMICO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
P R E S E N T E :**

Me permito comunicar a este Órgano Colegiado que, una vez revisada la tesis individual titulada "**Análisis de Cimentaciones Reticulares sobre suelos Expansivos mediante eventos aleatorios**" del pasante de la licenciatura de Ingeniería Civil, Alejandro Clemente Chávez, emito mi **Voto Aprobatorio**.

Atentamente,

"EL INGENIO PARA CREAR, NO PARA DESTRUIR"



Dra. Ma. de la Luz Pérez Rea
Sinodal

c.c Archivo
*sar

Resumen

En la mayoría de las ciudades, el comienzo de la urbanización se origina en zonas planas, de tierra fértil (arcillas), donde las épocas de lluvias siempre han sido seguras para sus cultivos, sin embargo éstas zonas han ido decreciendo por el establecimiento de la misma población, además de que en éstas zonas, es menos costosa la construcción. Construcciones que han registrado problemas estructurales, principalmente en muchas casas habitación de Interés social, donde la presencia de agrietamiento en muros, se debe a los movimientos diferenciales generados por el desarrollo de la presión de expansión del suelo arcilloso en diferentes zonas con diferente magnitud, efecto que llega a repercutir de manera significativa en este tipo de construcciones ligeras. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de la cimentación de una casa habitación, la cual sufrirá en diferentes lugares, una presión de expansión que generará distorsiones angulares. Esta presión de expansión se origina por las variaciones en el contenido de humedad del subsuelo. Para caracterizar este proceso que ocurre indistintamente en cualquier época del año y además se puede presentar en distintos lugares simultáneamente, se aplica un método aleatorio que analiza un gran número de escenarios de efectos de expansión sobre la cimentación evaluando al final los valores más críticos de los elementos mecánicos correspondientes al diseño. Se propone para este estudio una cimentación a base de trabes, debido a que la presión de expansión es directamente proporcional a la superficie de contacto (base de trabe), así se tendrá una magnitud menor de presión de expansión sobre la base de la cimentación, lo que ayudará a que existan menores magnitudes de distorsión angular en previsión de fallas en muros.

Abstract

In most of the cities, the beginning of the urbanization originates in plane areas, of fertile earth (clays), where the rainy seasons have always been safe for their cultivations, however these areas have gone falling for the same population's establishment, to other that in these areas, it is less expensive the construction. Constructions that have registered structural problems, mainly at many homes room of social Interest, where the cracking presence in walls, is due to the differential movements generated by the development of the pressure of expansion of the loamy floor in different areas with different magnitude, effect that ends up rebounding in a significant way in this type of slight constructions. The objective of this work is to analyze the behavior of the foundation of a house room, which will suffer in different places, an expansion pressure that will generate angular distortions. This expansion pressure originates for the variations in the content of humidity of the underground. To characterize this process that happens indistinctly in any time of the year and you can also present simultaneously in different places, an aleatory method is applied that analyzes a great number of scenarios of expansion effects on the foundation evaluating at the end the most critical values in the mechanical elements corresponding to the design. He/she intends for this study a foundation with the help of you begin, because the expansion pressure is directly proportional to the contact surface (it bases of it begins), one will have this way a magnitude smaller than expansion pressure on the base of the foundation, what will help to that smaller magnitudes of angular distortion exist in forecast of flaws in walls.

Dedicatorias:

A Dios, por darme, y permitirme disfrutar de la vida.

A mis padres, por los principios que me inculcaron, de los cuales me he formado como persona.

A mi esposa e hijo, por su paciencia, apoyo y comprensión, pero sobre todo por su amor, que hacen llenarme la vida de ilusiones.

A mis hermanas y hermanos, por su amor, apoyo y motivación, que siempre nos une.

A mis amigos, por la compañía y amistad desinteresada.

Agradecimientos:

A mi Universidad por mi formación a nivel profesional.

Al Dr. Jaime Horta Rangel, por ser mi Director de Tesis, y a su apoyo desinteresado.

ÍNDICE

<i>Resumen</i>	<i>i</i>
<i>Abstract</i>	<i>ii</i>
<i>Dedicatorias</i>	<i>iii</i>
<i>Agradecimientos</i>	<i>iv</i>
ÍNDICE	v
RELACIÓN DE FIGURAS	1
RELACIÓN DE TABLAS	2
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	4
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL SUELO	5
1.1.1 Minerales Arcillosos	5
1.1.2 Estructura Laminar	6
1.1.3 Familias Principales de los Minerales Arcillosos	7
1.1.4 Interacción de las Partículas de Arcilla	8
1.1.5 Características de las Arcillas	9
1.2 ARCILLAS EXPANSIVAS	9
1.2.1 Métodos de Identificación del Grado de Expansividad	9
1.2.2 Comportamiento de las Arcillas ante Construcciones Ligeras	13
1.3 CIMENTACIONES	14
1.3.1 Generalidades	14
1.3.2 Finalidad de la Cimentación	14
1.3.3 Tipos de Cimentaciones	15
1.3.4 Métodos de Análisis de Cimentaciones sobre Arcillas Expansivas.	27
1.3.5 Recomendaciones de Diseño	42
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	45

2.	METODOLOGÍA	46
2.1	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN	47
2.2	ASPECTOS TEÓRICOS	48
	2.2.1 Ecuación General de Análisis	48
	2.2.2 Estructuras Fundamentales	49
	2.2.3 Derivación de las Matrices Estructurales	53
2.3	PROGRAMA ANSYS	57
2.4	BEAM 44	58
3.	METODOLOGÍA PROPUESTA DE ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN RETÍCULAR A BASE DE TRABES PERALTADAS, SOBRE ARCILLAS EXPANSIVAS MEDIANTE EVENTOS ALEATORIOS	76
3.1	PRINCIPIOS DEL ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN	76
3.2	DESCRIPCIÓN	76
3.3	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	77
	1ER. ETAPA	79
	1. PROYECTO ARQUITECTÓNICO	
	2DA. ETAPA	82
	2. BAJADA DE CARGAS	
	3RA. ETAPA	90
	3. DISCRETIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA CIMENTACIÓN, A BASE DE COORDENADAS.	
	4TA. ETAPA	92
	4. DIAGRAMA DE FLUJO	
	5TA. ETAPA	96
	5. CAPTURA DEL MODELO EN EL PROGRAMA ANSYS.	
	6TA. ETAPA	105
	6. ASIGNACIÓN DE VARIABLES.	
	7TA. ETAPA	106
	7. ASIGNACIÓN DEL ELEMENTO FINITO BEAM44.	
	8A. ETAPA	112
	8. MALLADO DE LA RETÍCULA	
	8.1 DIMENSIONAMIENTO DE VECTORES	114
	9A. ETAPA	116
	9. RESTRICCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS	
	9.1 INTRODUCCIÓN DE CARGAS	118
	10A. ETAPA	126
	10. MACRO DEL PROGRAMA DE MODELACIÓN	
	MACRO No.1	126
	MACRO No.2	140

11E. ETAPA	141
11. CORRIDAS DEL PROGRAMA: RESULTADOS.	
MACRO No.1	142
MACRO No.2	166
4. CONCLUSIONES.	200
5. RECOMENDACIONES.	204
<i>Referencias Bibliográficas.</i>	205

Relación de figura

Figura	Descripción
1.1	Distribución atómica en las láminas de los minerales de las arcillas.
1.2	Estructura laminar de las principales familias de los minerales arcillosos.
1.3	Campo de fuerzas de un mineral de arcilla y del agua adsorbida.
1.4	Estados de consistencia.
1.5	Capa activa.
1.6	Partes de una estructura.
1.7	Zapata Aislada.
1.8	Zapata Corrida.
1.9	Planta de cimentación con zapatas de lindero y centrales.
1.10	Zapata Ligada. Zapata de lindero ligada a una zapata central.
1.11	Zapata Combinada (por medio de losa de cimentación).
1.12	Zapata Combinada (por medio de trabes transversales sobre la losa).
1.13	Zapata Combinada (por medio de una trabe longitudinal sobre la losa).
1.14	Losa trapecial.
1.15	Losa trapezoidal con trabes transversales.
1.16	Losa trapezoidal con trabe longitudinal.
1.17	Cimentación por Trabes.
1.18	Losa de cimentación.
1.19	Cimentaciones profundas.
1.20	Pilote de fricción.
1.21	Pilote de punta.
1.22	Pilotes Inclinados y verticales.
1.23	Cimentación con cajón
1.24	Cimentación parcialmente compensada combinada con pilotes de fricción.
1.25	Viga sobre resortes elásticos
1.26	Obtención del módulo de Reacción de un suelo por medio de una prueba de placa.
1.27	Condiciones extremas que pueden presentarse en una losa apoyada en suelo expansivo.
1.28	Cargas actuantes sobre la losa de cimentación en sus condiciones críticas.
1.29	Montículo idealizado desarrollado.
1.30	Gráficas para el Método de Swinburne.
1.31	Relación entre la distribución angular por hundimientos diferenciales y el nivel de daños en construcciones con muros de mampostería (Meli, 2001).
2.1	Viga Asimétrica Afilada Tridimensional, BEAM44 .
2.2	Tensión de salida BEAM44.
2.3	BEAM44 - Viga Asimétrica Elástico Tridimensional.

Relación de Tablas

Tabla	Descripción
1.1	Familias Principales de los Minerales Arcillosos(Sowers, 1990).
1.2	Valores del módulo de elasticidad, Es, y el módulo de reacción Ks1, para diferentes tipos de suelo.
1.3	Razones Δ/L Permitidas (Curvaturas De Deflexión)
1.4	Recomendaciones del espaciamiento entre vigas y refuerzo en los tableros de la losa.
1.5	Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación*(según el RCDF),(Meli, 2001).
2.1	Resumen de la entrada de BEAM44.
2.2	Definiciones de salida del elemento.
2.3	BEAM44 (KEYOPT(9)=0) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
2.4	BEAM44 (KEYOPT(9)=1) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
2.5	BEAM44 (KEYOPT(9)=3) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
2.6	BEAM44 (KEYOPT(9)=5) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
2.7	BEAM44 (KEYOPT(9)=7) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
2.8	BEAM44 (KEYOPT(9)=9) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.
3.1	Combinaciones de Carga de Servicio.
3.2	Elementos Aleatorios
3.3	Resultados (Macro No.1).
3.4	Elementos Aleatorios
3.5	Resultados (Macro No. 2).

ANTECEDENTES

El comienzo de la urbanización se origina en zonas planas, de tierra fértil (arcillas), donde las épocas de lluvias siempre han sido seguras para sus cultivos, sin embargo éstas zonas han ido decreciendo por el establecimiento de la misma población, a demás de que en éstas zonas, es menos costosa la construcción. Construcciones que han registrado problemas estructurales, principalmente en muchas casas habitación de Interés social, donde la presencia de agrietamiento en muros siempre generan un sentimiento de temor para los ocupantes de las mismas.

Se ha detectado que el problema proviene de la heterogeneidad del suelo arcilloso ante condiciones intrínsecas provocadas por: las estaciones climatológicas, fugas de agua en instalaciones sanitarias, etc., que hacen que el suelo varíe de volumen, aspectos que son de vital importancia en el diseño estructural de una buena cimentación.

Se han propuesto muchas metodologías para contrarrestar este fenómeno:

1.- Una de las más puestas en practica es la de ***Una sustitución de suelo***; es decir, sustituir la capa superficial de arcilla, por un suelo inerte (en Querétaro el más común es el Tepetate). Con ello se trata de evitar que el suelo arcilloso se vea alterado ante sequías y humedades superficiales.

2.- La otra es el de rigidizar la cimentación, mediante una losa nervada de cimentación, lo cual es una construcción relativamente costosa.

Gracias al avance en la mecánica de suelos podemos caracterizar un suelo arcilloso así como su grado de expansividad. Información que procesada a través de un programa de modelación estructural como el programa ANSYS, nos permite modelar una cimentación a base de trabes sobre suelo arcilloso expansivo (retícula de cimentación), en el que intervienen las variables principales generadoras de distorsiones angulares significativas que provocan fisuras en la construcción (en muros y pisos).

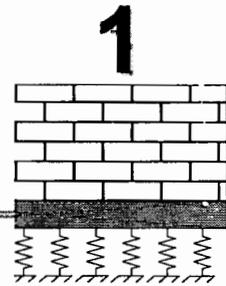
La tesis incluye el análisis de distintos tipos de cimentación, las más comunes en el campo de la construcción, además de la propuesta a base de trabes, su composición, caracterización e identificación de arcillas expansivas, aspectos generales del análisis de interacción suelo-estructura, se comentan asimismo articulados del reglamento de construcción sobre las cargas a considerar en el diseño de cimentaciones, etc. Todo lo anterior es tomado como punto de partida en la modelación de la cimentación a base de elementos finitos con ayuda del programa ANSYS, de Modelación de Sistemas Físicos, y que nos permite interactuar las variables más importantes de suelo-estructura, y de esta manera obtener los esfuerzos a que se encuentra sometida la cimentación.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es proponer una metodología racional de análisis estructural de una cimentación para casas habitación en zonas donde el suelo es arcilloso y muy expansivo.

Sería deseable que en la práctica de la construcción, pudiésemos, sin llegar a la "sustitución de material" construir una cimentación directa, al menos de casas habitación, a base de trabes peraltadas capaces de resistir las distorsiones angulares provocadas por la máxima presión de expansión del suelo arcilloso expansivo. De esta manera, se abatirían los costos al no emplear maquinaria para mover los grandes volúmenes tanto de excavación como de sustitución de suelo.

MARCO TEÓRICO



1.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL SUELO

Para el agrónomo, el suelo lo refiere, a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el ingeniero. Para el Geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie; esta definición peca de parcial en Ingeniería al no tomar en cuenta los materiales transportados no intemperizados posteriormente a su transporte. Para aspectos Ingenieriles, suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo (Juárez B.; Rico R.; 1999).

Partiendo de los numerosos minerales (principalmente silicatos) que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas, los agentes de descomposición químicas llegan a un producto final: La Arcilla (Juárez B.; Rico R.; 1999).

1.1.1 Minerales Arcillosos

Los minerales arcillosos se originan de la descomposición de los feldespatos, micas y minerales ferromagnesianos, todos los cuales son silicatos de aluminio complejos se produce de muchas maneras, provocado por las variaciones de (Sowers, 1990):

- 1) Humedad.
- 2) Temperatura.
- 3) Ambiente oxidante o reductor.
- 4) La presión.
- 5) Meteorización.

Hay muchas formas de minerales arcillosos, algunas con semejanzas y grandes diferencias en composición, estructura y comportamiento. Todos son de grano extremadamente fino, con grandes áreas superficiales por unidad de masa. Todos tienen, probablemente, una estructura cristalina definida, que incluyen gran número de átomos agrupados en complejos modelos tridimensionales. Todos son eléctricamente activos (Sowers, 1990).

satisfacer los cationes suministrados por las sales del agua circundante. En algunos casos los cationes son compartidos por las placas adyacentes. De manera similar los átomos de hidrógeno pueden desplazarse entre una y otra placa. La atracción compartida llamada "enlace de hidrógeno" es la que une entre las placas y las mantiene empaquetadas.

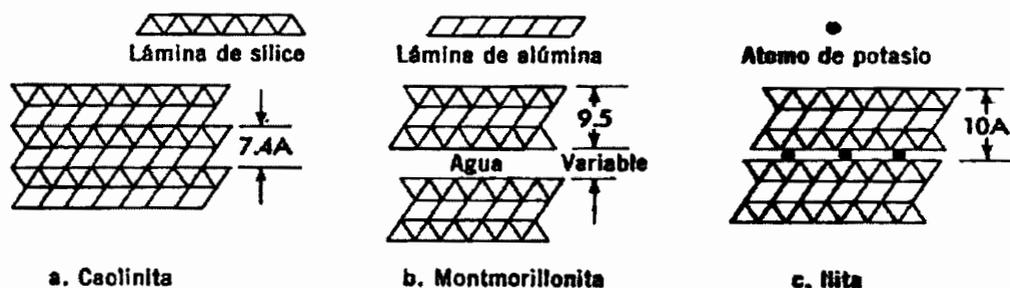


Figura 1.2 Estructura laminar de las principales familias de los minerales arcillosos.

1.1.3 Familias Principales de los Minerales Arcillosos

Tabla 1.1 Familias Principales de los Minerales Arcillosos(Sowers, 1990).

FAMILIA	CARACTERÍSTICAS	Espesor de placa unitaria (A°)
Caolinita	<ul style="list-style-type: none"> -Esta formada por láminas de alúmina y silice que forman un material arcilloso, figura 1.2a. -Las láminas están en general relativamente bien equilibradas eléctricamente y sólo presentan sustituciones isomorfas limitadas. -Las laminas están fuertemente unidas, formando placas, y se apilan en forma de hojas de libro con espesores de 0.01mm. 	7.4
Montmorillonita	<ul style="list-style-type: none"> -Llamadas algunas veces "esmeclitas", compuesta de una lamina de alúmina entre dos de silice, figura 1.2b. -Las unidades no se empaquetan fácilmente y cuando lo hacen se desprenden con facilidad. -Las montmorillonitas se caracterizan por una sustitución isomorfa abundante y, en teoría, cada sustitución produce un mineral distinto. -Las montmorillonitas se forman en regiones ricas en rocas ferromagnesianas, tales como las volcánicas y particularmente en áreas de altas temperaturas e intensas lluvias. 	9.5
Illita	<ul style="list-style-type: none"> -Están formadas por una lámina de alúmina entre dos de silice. Las unidades adyacentes de illitas están unidas por sus átomos de potasio compartidos de modo que forman paquetes bastante compactos, figura 1.2.c. -Hay limitadas sustituciones isomorfas en la lámina 	10

de alúmina pero puede haber algunas sustituciones de silicio por el aluminio, en la lámina de sílice. -Se presentan generalmente con rocas lutitas y otros depósitos que fueron sometidos a cambios ambientales.

1.1.4 Interacción de las Partículas de Arcilla

Cuando las partículas de arcilla se humedecen se comportan de diferente manera a como lo hacen otros minerales, debido a la interacción de los campos electrostáticos y las dobles capas de difusión, figura 1.3. Cuando las partículas están agrupadas cara a cara, se mantienen separadas debidas a sus iguales cargas eléctricas, ocupando el espacio entre ellas las dobles capas de difusión. Al mismo tiempo esas partículas son atraídas localmente debido a cargas diferentes (como en las aristas) y la participación de algunos hidrógenos (enlaces de hidrógenos) y posiblemente la de algunos cationes. Las fuerzas de Van der Waals son un poderoso mecanismo de atracción, que es esencialmente el efecto dipolar, en el cual los átomos neutros se atraen unos a otros debido a la asimetría de sus cargas. Estas fuerzas decrecen rápidamente conforme aumenta la separación. Finalmente, puede haber cementación entre los granos por otros minerales, como los de calcio o los de óxido de hierro.

El sistema de fuerzas alrededor de una partícula de arcilla, incluyendo cualquier fuerza exterior, está en equilibrio. Una fuerza externa (proporcionada por la cimentación) puede acercar las partículas expulsando parte del agua de la doble capa de difusión. Una reducción de la humedad o contenido de agua puede reducir el espesor de la doble capa de difusión y acercar entre sí las partículas. El acercamiento de las partículas aumenta la atracción entre ellas y reduce el movimiento potencial de las mismas. Esta es la causa del fenómeno de plasticidad en los suelos que contienen arcilla. Un suelo de arcilla se puede deformar plásticamente sin romperse, con distintas humedades; cuanto mayor sea la humedad, mayor es la separación de las partículas, menor la atracción entre ellas y mayor movilidad de las mismas. La misma arcilla menos húmeda tendrá las partículas más próximas, habrá más atracción entre ellas y formará una masa más rígida (Sowers, 1990).

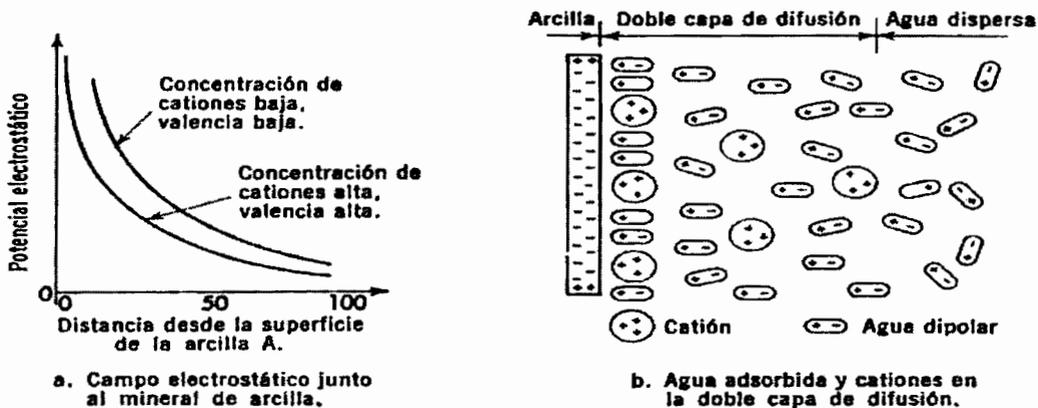


Figura 1.3 Campo de fuerzas de un mineral de arcilla y del agua adsorbida.

1.1.5 Características de las Arcillas

Las arcillas son suelos que presentan la propiedad de "plasticidad", es decir, son suelos que pueden deformarse hasta cierto límite sin romperse. Por medio de esta propiedad se han venido estudiando los suelos (Crespo, 1999).

El grado de plasticidad en las arcillas es variable y para conocerlo se hace uso de los *límites de Atterberg*, quien por medio de ellos separo los cuatro estados de consistencia de los suelos (1. Estado sólido, 2. Estado Semi-Sólido, 3. Estado Plástico, 4. Estado Líquido), figura 1.4.

Límites de Atterberg:

- 1) Límite líquido(LL).
- 2) Límite plástico(LP).
- 3) Límite de Contracción(LC).

La diferencia entre el límite líquido y límite plástico se conoce como Índice Plástico(IP).

Cada uno de estos límites no son más que humedades(W%), que se obtienen mediante testigos de humedad, que deberán de determinarse según especificaciones, particulares (Crespo, 1999).

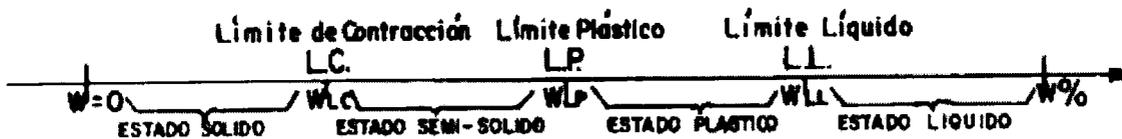


Figura 1.4 Estados de consistencia.

1.2 ARCILLAS EXPANSIVAS

1.2.1 Métodos de Identificación del Grado de Expansividad.

Se llaman arcillas expansivas aquellas que presentan un gran cambio de volumen con los cambios de humedad. Así, cuando dichas arcillas se humedecen sufren fuerte expansión, y cuando se secan se contraen considerablemente.

Se tienen tres métodos diferentes para clasificar la potencialidad de expansión de los suelos (Zepeda, 1986).

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

- I.- MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN MINERALOGÍA.
- II.- MÉTODOS DIRECTOS.
- III.- MÉTODOS INDIRECTOS.

I.- IDENTIFICACIÓN MINERALÓGICA.

La cual puede utilizarse en la evaluación del material, pero no es suficiente en si mismo cuando se trata de suelos naturales. Los diferentes métodos de identificación mineralógica son importantes en un laboratorio de investigación, en la explotación de las propiedades básicas de arcillas, pero son imprácticos y antieconómico para los ingenieros prácticos.

La composición mineral de los suelos expansivos tiene importante influencia sobre el potencial de expansión, debido a la estructura reticular que esta compuesta por las láminas silícicas y las aluminicas, según el tipo de arcilla. De esta forma, se propone que identificando los constituyentes mineralógicos de la arcilla se puede estimar el potencial de expansión. Las técnicas que pueden utilizarse son:

- Difracción de rayos x
- Análisis térmico diferencial
- adsorción de color
- Análisis químico y
- Microscópico electrónico

II.- MEDICIONES DIRECTAS.

Ofrece la mayor información, utilizado por el ingeniero practico. Las pruebas son simples de realizar y no requieren de equipo sofisticado y caro. Debe sin embargo, introducirse una preocupación, que las pruebas se realizan sobre un numero de muestras conveniente de forma de evitar conclusiones erróneas.

III.- METODOS INDIRECTOS: Como las **propiedades índice**, método PVC (Potencial de Cambio Volumétrico) y método de la actividad, los cuales son útiles para evaluar las propiedades de expansión.

- PROPIEDADES ÍNDICE.

La evaluación del potencial de expansión puede realizarse por medio de pruebas sencillas. Esta pruebas pueden incluirse en la rutina, para la investigación del lugar donde se realizará la obra de que se trate. Las pruebas pueden ser:

- a) Límites de Atterberg
- b) Contracción Lineal
- c) Expansión Libre y
- d) Contenido de Coloides

a) **Limites de Atterberg.** Holt y gibbs (1956) demostraron que el índice de plasticidad y el limite liquido son índices de utilidad para determinar las características de expansión de la mayoría de las arcillas.

El potencial de expansión se define como el porcentaje de aumento de volumen en una muestra confinada lateralmente, la cual se satura bajo una sobrecarga de 1 libra/plg². después de ser compactada a su peso específico máximo en la humedad óptima, de acuerdo a la prueba AASHO. De lo anterior, Seed, Woodward y Lundgren establecen la siguiente relación simplificada:

$$S = 60 k (Ip)^{2.44} \quad (1.1)$$

En la cual

S = Potencial de expansión

y

K = 3.6×10^{-5} y es una constante

La ecuación arriba se aplica solamente a suelos con porcentaje de arcilla comprendidos entre el 8 y 65% y la aproximación de esta fórmula de cálculo es de aproximadamente un 33% de diferencia respecto a la determinación en laboratorio del potencial de expansión.

Puesto que el limite liquido y la expansión de las arcillas dependen ambas de la cantidad de agua que la arcilla trata de absorber, no es sorpresa que estén relacionados.

La relación entre el potencial de expansión de las arcillas y el índice de plasticidad puede establecerse como a continuación se indica:

Potencial de Expansión	Índice de plasticidad
Bajo	0 - 15
Mediano	10 - 35
Alto	20 - 25
Muy alto	35 ó más

b) **Contracción Lineal.** El potencial de expansión se supone que esta relacionado con la propiedad puesta de medición de la contracción lineal en una prueba muy simple. Teóricamente parece ser que las características de contracción de la arcilla deben ser índices consistentes y confiables de potencial de expansión.

Altmeyer sugirió en 1955 a manera de guía para la determinación del potencial expansión varios valores de limite de contracción y contracción lineal, como muestra a continuación:

Limite de contracción como porcentaje	Contracción Lineal como porcentaje	Grado de expansión
< 10	> 8	crítico
10 –12	5 – 8	marginal
> 12	0 – 5	no crítica

c)Expansión libre. La prueba de expansión libre consiste en colocar un nuevo volumen conocido de suelo seco dentro de agua, observando el volumen que se tiene después de que el material se estabiliza en el fondo de una probeta graduada.

La diferencia entre el volumen inicial y el final, expresada como porcentaje del volumen inicial, es el valor de la expansión libre. Esta prueba de expansión es muy burda y se uso hace tiempo, cuando no era posibles métodos y pruebas más refinadas.

Los experimentos relacionados por Holtz (1956) indican que un numero importante de bentonitas comerciales de alta expansividad tendrán una expansión libre de 1,2000 por ciento. Holtz sugirió que los suelos con valores de expansión libre menor de 100 por ciento puede causar considerables daños a estructuras ligeras, y los suelos con valores de expansión libre menor del 50 por ciento rara vez exhiben cambios de volumen apreciables bajo cargas muy ligeras.

d)Contenido coloidal. El tamaño de las partículas en una arcilla manifiesta influencia en el potencial de expansión aumenta con la cantidad de arcilla presente en el suelo.

Para cualquier tipo de arcilla, la relación entre el potencial de expansión y de porcentaje de arcilla (en cuanto a tamaño de granos) puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$S = K C^x \quad (1.2)$$

Donde S = potencial de expansión, expresado como porcentaje de expansión bajo 1 lb/Plg de sobre carga para una muestra compactada en la humedad óptima para el peso específico seco máximo, de acuerdo a la prueba de compactación AASHO estándar.

C = Porcentaje de partículas arcillosas menores de 0.002 mm

X = Exponente que depende del tipo de arcilla y

K = Coeficiente que depende del tipo de arcilla

La cantidad de partículas arcillosas se puede determinar a través de la prueba del hidrómetro, el tipo de Coloides se reflejan en x y k, en la ecuación 1.2, controla la cantidad de expansión. El contenido coloidal, lo mismo que los limites de Atterberg, debe ser incluido en la rutina de la investigación en laboratorio sobre suelos expansivos.

1.3 CIMENTACIONES

1.3.1 Generalidades

En toda estructura es necesario distinguir dos partes principales:

- 1) La superestructura.
- 2) La subestructura.

- 1) La superestructura: Es aquella parte de la estructura que está formada por losas, trabes, muros, columnas, etc. (Crespo, 1999).
- 2) La subestructura: Es la parte de la estructura que sirve para transmitir las cargas de ésta al suelo de cimentación, y que comúnmente se le conoce con el nombre de cimentación, (Crespo, 1999).

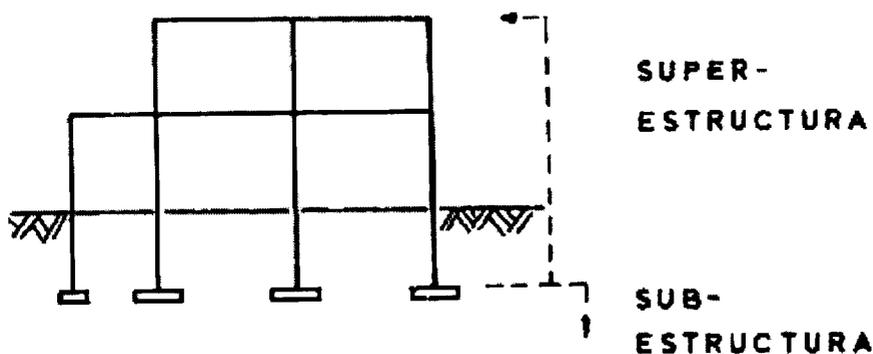


Figura 1.6 Partes de una estructura.

La construcción de cimientos es una de las artes más antiguas de la humanidad. Los habitantes prehistóricos de los lagos de Europa construían sus casas sobre largas estacas de madera que hincaban firmemente en el blando fondo de los lagos; los antiguos egipcios construían sus monumentos sobre capas de piedra que descansaban en la roca y sobre camadas de mampostería edificaban sus pirámides (Crespo, 1999).

1.3.2 Finalidad de la Cimentación

Es el de proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno (estratos resistentes), produciendo en éste un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamientos tolerables, ya sean éstos uniformes o diferenciales. Durante la vida útil de la estructura (Crespo, 1999).

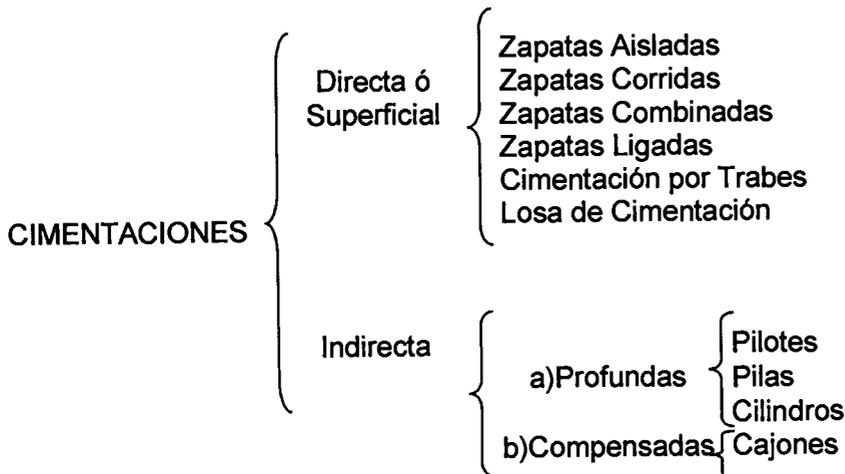
1.3.3 Tipos de Cimentaciones

Se pueden distinguir en general dos grupos: Las cimentaciones directas y las cimentaciones indirectas (Crespo, 1999).

Una cimentación directa (ó superficial); es aquella en la cual los elementos verticales de la superestructura se prolongan hasta el terreno de cimentación, descansando directamente sobre él mediante el ensanchamiento de su sección transversal con el fin de reducir el esfuerzo unitario que se transmite al suelo; además de caracterizarse por no ocupar maquinaria pesada ni procedimientos constructivos especiales y su diseño no acepta esfuerzos de tensión.

Una cimentación indirecta; es aquella que se lleva a cabo por elementos intermedios, que transmiten la carga a grandes profundidades, donde se hallan los estratos resistentes; además de utilizar un procedimiento constructivo y equipo especial.

Dentro de estos dos grupos se hallan la siguiente subdivisión:



Cimentación Directa O Superficial

Zapatas.

Una zapata es una ampliación de la base de una columna o muro, que tiene por objeto transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo.

-Las zapatas que soportan una sola columna se llaman “Zapatas Aisladas” (Peck, Hansaon y Thornburn, 1983).

Conviene usar zapatas aisladas en suelos de baja compresibilidad (C_c ; índice de compresibilidad menor a 0.20) y donde los asentamientos diferenciales entre columnas puedan ser controlados, empleando el método de asentamientos iguales; incluyendo juntas en la estructura, o cuando se tenga una estructura con cierta flexibilidad.

se saldría del límite de propiedad. Si se empleara una zapata sencilla excéntrica resultaría una distribución de presiones desuniforme, presentándose la posibilidad de que la zapata se incline y consecuentemente se flexione la columna. En estos casos la mejor solución corresponde al uso de zapata ligadas por medio de una trabe, a una zapata central.

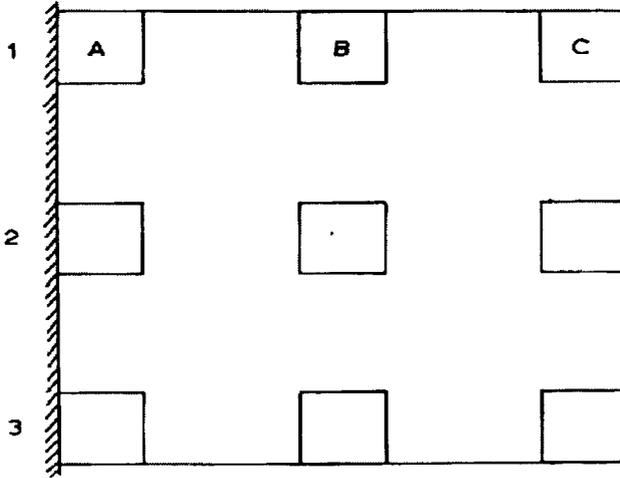


Figura 1.9. Planta de cimentación con zapatas de linder y centrales.

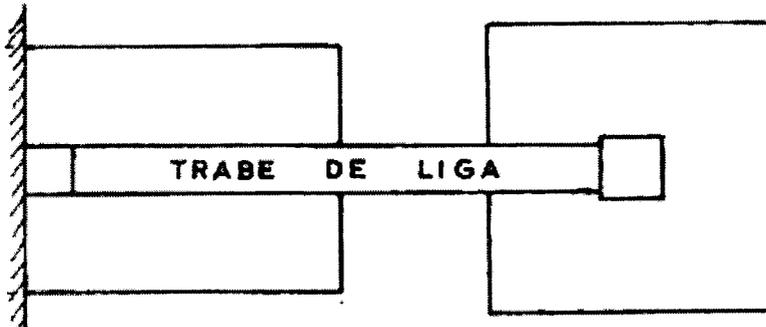


Figura 1.10 Zapata Ligada.
Zapata de linder ligada a una zapata central.

-Si una zapata soporta varias columnas se llama **“Zapata Combinada”** (Crespo, 1999).

Otra manera de resolver el mismo problema anterior(cimentación de columnas de linder) consiste en emplear una sola zapata rectangular para las dos columnas de tal modo que la resultante R de las presiones del suelo coincidan con la resultante de las cargas P y P' . El problema puede resolverse de 3 maneras diferentes entre sí:

- 1) Una es sin emplear traveses de liga, es decir que las columnas descansen directamente sobre la losa de cimentación rectangular. Figura 1.11.

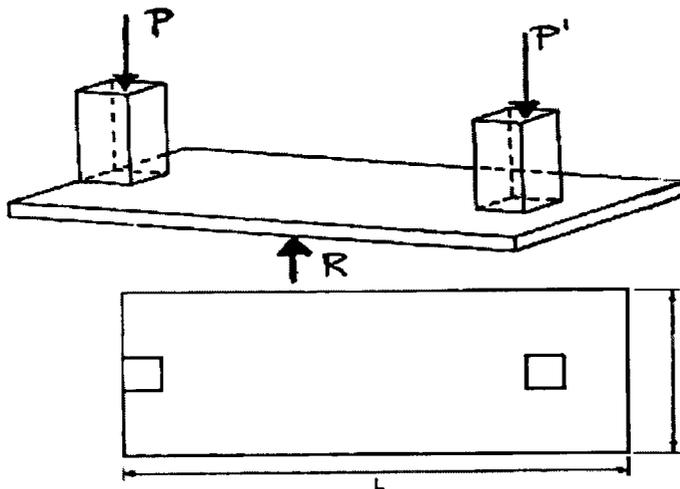


Figura 1.11 Zapata Combinada(por medio de losa de cimentación).

- 2) Otra es el empleo de traveses transversales bajo las columnas como se muestra en la figura 1.12, las cuales sirven para llevar las reacciones de la losa de cimentación a las columnas y que trabajan como doble ménsula empotradas a la columna.

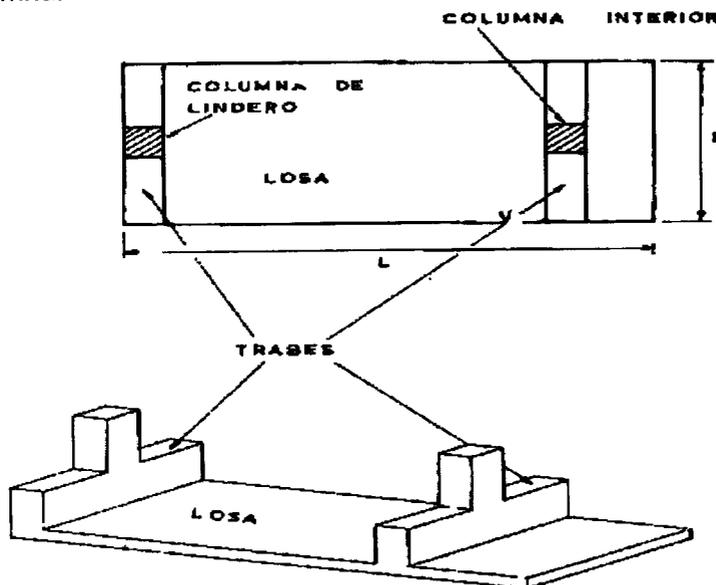


Figura 1.12 Zapata Combinada(por medio de traveses transversales sobre la losa).

- 3) La tercer forma de resolver el problema es emplear una trabe longitudinal como se muestra en la figura 1.13, que divide a la losa en dos ménsulas, donde la trabe trabaja como una viga empotrada y en voladizo.

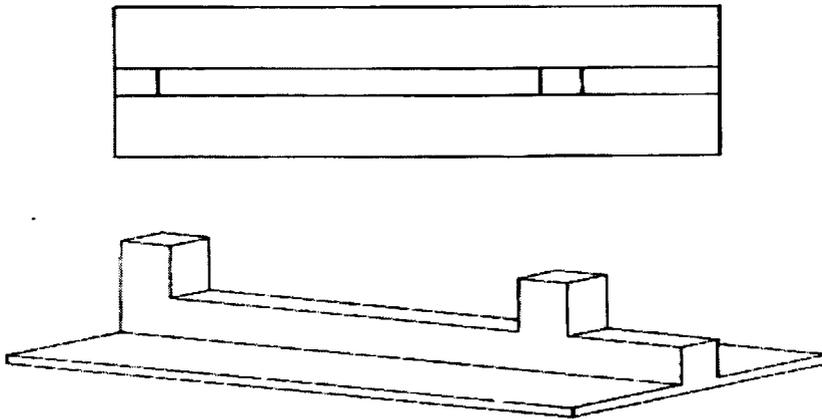


Figura 1.13 Zapata Combinada(por medio de una trabe longitudinal sobre la losa).

En algunos casos cuando hay limitaciones de espacios, conviene que la zapata no sea rectangular sino trapecial, presentándose de igual manera la posibilidad de resolverse de tres maneras:

- 1) Sólo la losa trapecial, figura 1.14
- 2) Con traves transversales, figura 1.15
- 3) Con una trabe longitudinal, figura 1.16

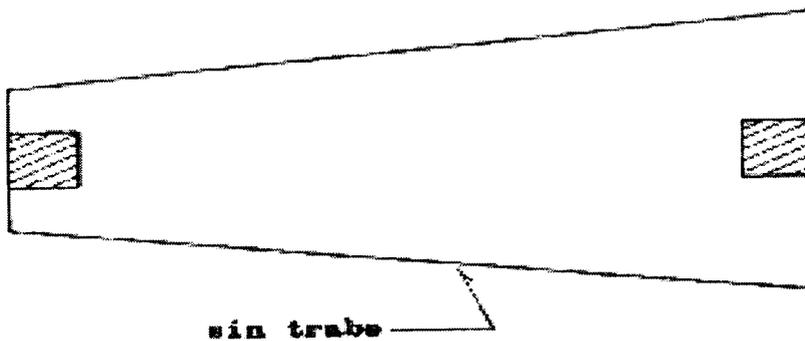


Figura 1.14 Losa trapecial.

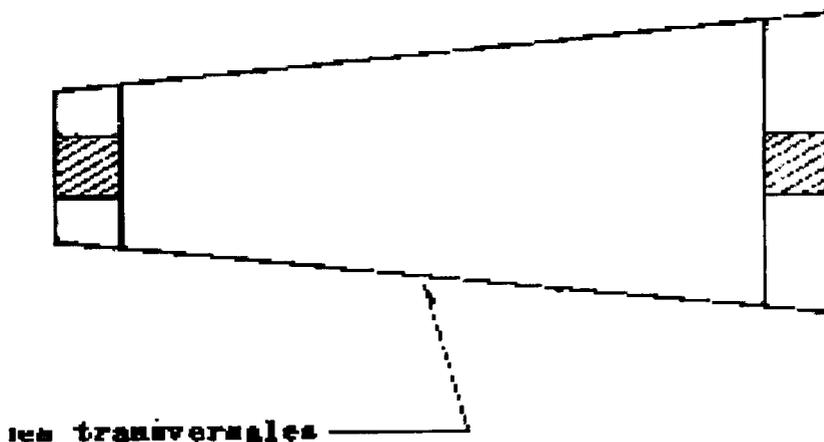


Figura 1.15 Losa trapezoidal con travesaños transversales.

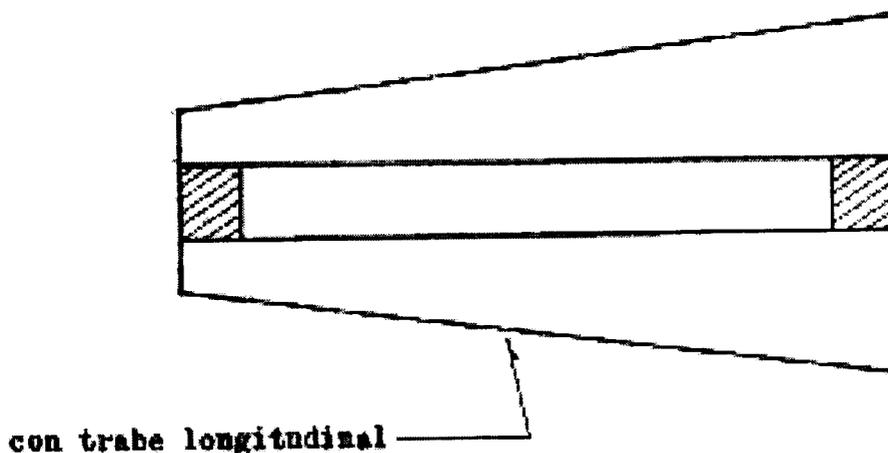


Figura 1.16 Losa trapezoidal con trabe longitudinal.

Cimentación por Trabes.

-Cuando se unen las bases de las columnas con vigas de concreto (sección rectangular o tipo T), se llaman "Cimentación por Trabes" (Crespo, 1999).

Cuando por la importancia de las cargas resulten las zapatas de cimentación con dimensiones tales que queden muy próximas unas de otras, es conveniente emplear otro tipo de cimentación, tal como el de cimentación por trabes.

La cimentación por trabes consiste en unir las bases de las columnas con vigas de concreto, que pueden ser de sección rectangular o en "T". En este sistema de cimentación la carga de cada columna se considera repartida por igual en todas las vigas concurrentes

a la misma, y como carga de cada viga se toma aquella formada por la suma de las dos cargas transmitidas por las columnas que sustenta. Figura 1.17.

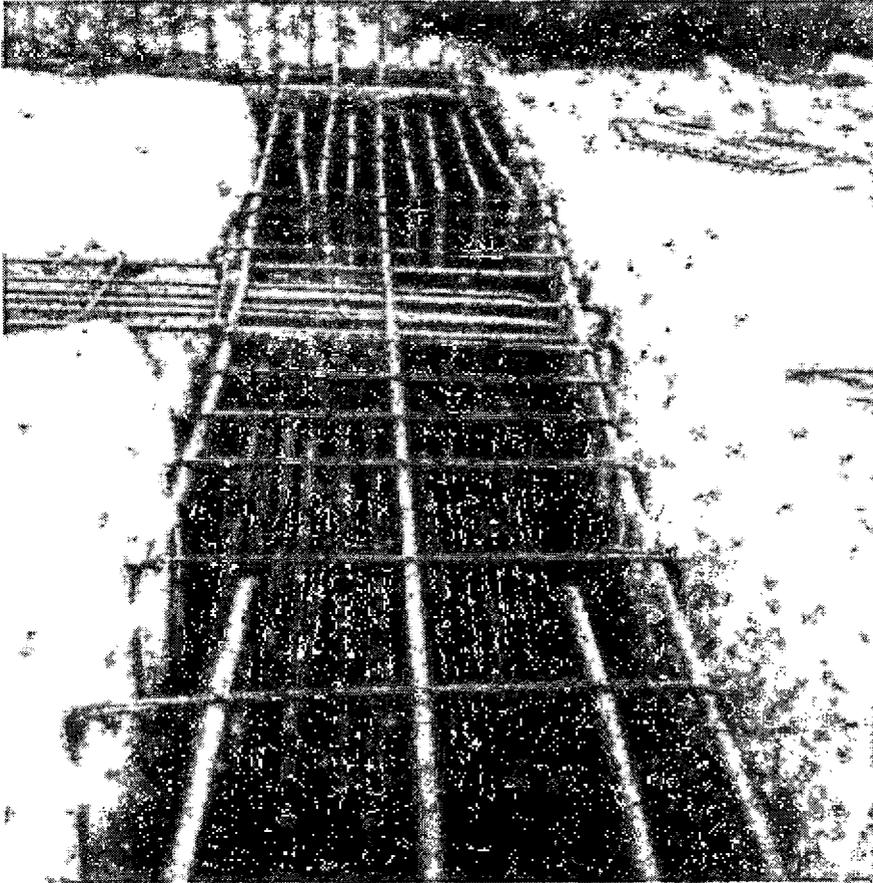


Figura 1.17 Cimentación por Trabes.

Losas de Cimentación.

-Cuando la totalidad de la cimentación es cubierta por una losa que soporta todos los muros y columnas se llaman "Losa de Cimentación". (Crespo, 1999).

El empleo de este tipo de cimentación es cuando las cargas sean bastante pesadas y al emplear zapatas continuas éstas ocupen cerca del 50% del área del edificio en planta, es más económico usar una losa de cimentación, figura 1.18.

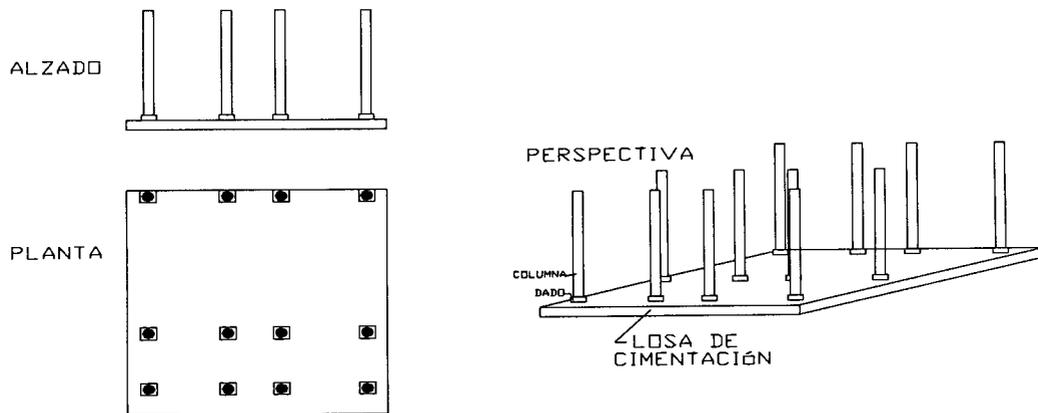


Figura 1.18 Losa de cimentación.

CIMENTACIÓN INDIRECTA.

a) Profundas.

Pilotes. Son elementos esbeltos de cimentación, ver figura 1.19, que se utilizan para transmitir las cargas de una estructura a estratos profundos más resistentes que los mantos superficiales, o bien cuando la estructura deba construirse en un sitio cubierto por agua.

Se debe de emplear este tipo de cimentación cuando la cimentación por compensación no sea económicamente adecuada para soportar las cargas pueden combinarse la compensación parcial y pilotes de fricción (SMMS, 1998).

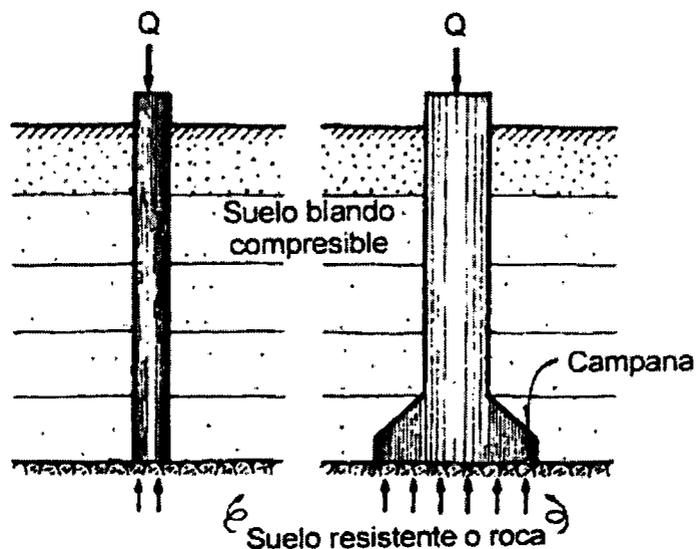


Figura 1.19 Cimentaciones profundas.

Los pilotes pueden clasificarse atendiendo diferentes causas (SMMS, 1998):

- a) Respecto a los materiales empleados a su elaboración:
- 1) De madera. Ya no muy usual, aunque sólo es utilizado en algunos trabajos como cimentación provisional.
 - 2) De acero. En la que los perfiles más usados es el "H" y la circular.
 - 3) De concreto simple.
 - 4) De concreto reforzado.
 - 5) De concreto pre-esforzado.
 - 6) Mixtos. Son los que más se especifican para la construcción de cimentaciones profundas; combinaciones de concreto reforzado con acero, ya sea el refuerzo con perfiles o varillas.
- b) Respecto al lugar de construcción:
- 1) Prefabricados: cuando el pilote se fabrica en un lugar distinto al de su hinca.
 - 2) Fabricados en el lugar de hinca.
- c) Respecto a la sección transversal:
- 1) Hueca.
 - 2) Maciza.
- d) Respecto a su apoyo:
- 3) Pilotes de fricción: cuando la mayor parte de la carga del pilote se transmite al terreno por fricción en su superficie lateral, ver figura 1.20.
 - 4) Pilote de punta: cuando la mayor parte de carga del pilote se transmite por apoyo directo del extremo del pilote a un manto resistente, ver figura 1.21
 - 5) Pilote de apoyo mixto: cuando parte de la carga del pilote se transmite al terreno por fricción y el resto por apoyo directo.

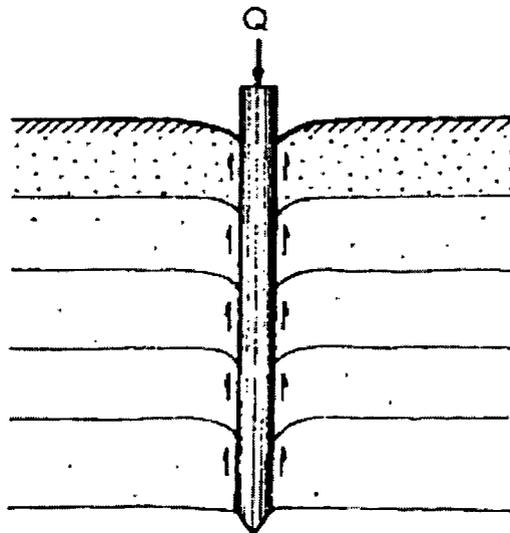


Figura 1.20. Pilote de fricción.

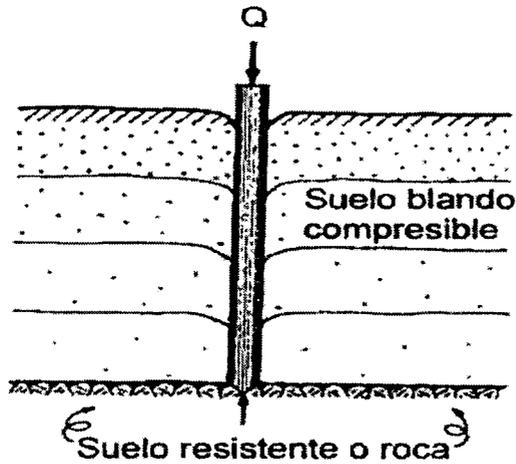


Figura 1.21 Pilote de punta.

e) Respecto a su dirección:

- 1) Pilotes verticales.
- 2) Pilotes inclinados.

En estructuras que generan cargas horizontales hacia la cimentación, además de las verticales, puede ser recomendable el uso de pilotes inclinados, con el propósito de que la fuerza resultante sea transmitida adecuadamente al subsuelo por la cimentación profunda elegida. En el caso de la ocurrencia de acciones sísmicas en el cual la fuerza sean considerable, los pilotes inclinados, como los de la figura 1.22, provocan concentraciones fuertes en la losa que se apoya en ellos, lo cual debe ser analizado en su diseño. Si la carga horizontal es moderada es preferible usar pilotes instalados verticalmente y aprovechar la reacción pasiva del suelo superficial.

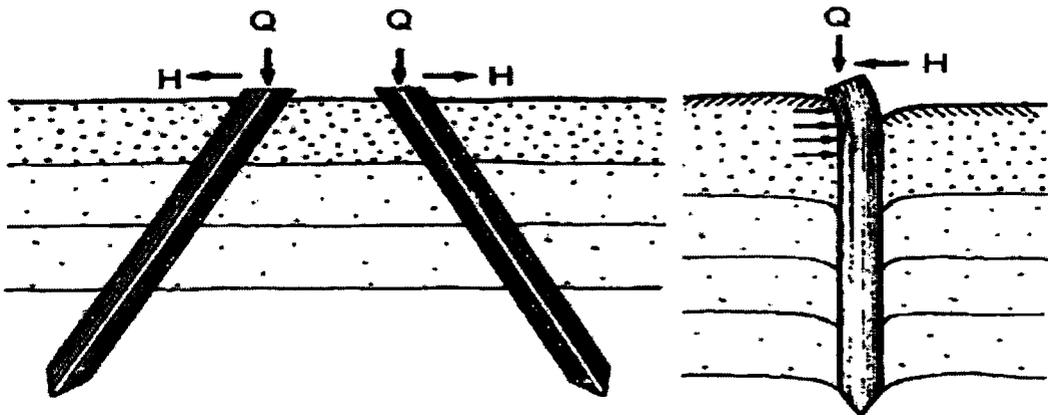


Figura 1.22 Pilotes Inclinados y verticales.

Pilas(cilindros). Son elementos de cimentación profunda con secciones mayores que la de los pilotes, las cuales también transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación con el propósito de lograr estabilidad del conjunto (SMMS, 1998).

Las pilas se fabrican directamente en el subsuelo, por lo que se les conoce como elementos fabricados *in situ*. Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son exclusivamente de compresión las pilas pueden fabricarse prácticamente de cualquier material que tenga la resistencia requerida, los cuales deben ser estables durante la vida útil de la estructura que soportarán siendo los más utilizados la grava, la cal, el mortero y el concreto premezclado. Las características de los estratos del subsuelo, así como las condiciones del agua subterránea, definirán el material que deberá emplearse para la fabricación de las pilas.

Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son de compresión y de tensión, las pilas por lo general se fabrican utilizando concreto premezclado reforzado con varillas corrugadas, tubo metálico o perfiles estructurales, siendo el perfil "H" el más común. El acero de refuerzo puede ser especificado también como una combinación de los mencionados anteriormente, y no necesariamente debe ser de la longitud de la pila cuando el acero exclusivamente absorberá los esfuerzos de tensión; en las condiciones anteriores, el anclaje del acero de refuerzo en el concreto se especifica generalmente en el tercio superior de la longitud total de la pila, ya que no se logrará mayor capacidad de tensión al rebasar la longitud de adherencia del acero con el concreto.

Las secciones utilizadas comúnmente son; mínimo 60 cm hasta 3m de diámetro, cuando se requiera de mayor área de contacto con el estrato resistente, podrán hacerse ampliaciones graduales cuyo diámetro no sea mayor de 3 veces al del fuste, así mismo el ángulo respecto a la horizontal, que se forma en la transición de cambio de área, no deberá ser menor de 60°.

Existen pilas con secciones rectangulares u oblongas de 0.60m X 2.50m o 0.80m X 2.0m, uniendo estas pilas se pueden obtener pilas con secciones tipo "H" y "T", que proporcionan mayor momento de inercia que las anteriores.

b)Compensadas.

Cajones. Se entiende por cimentaciones compensadas aquéllas en las que se busca reducir el incremento neto de carga aplicado al subsuelo mediante una excavación en donde se aloja un cajón de cimentación, figura 1.23. Si la transmisión de carga neta al subsuelo en el desplante del cajón resulta positiva, nula o negativa, la cimentación se denomina parcialmente compensada, compensada o sobrecompensada, respectivamente (SMMS, 1998).

La justificación al uso de este tipo de cimentación viene ser cuando el suelo presente una compresibilidad mediana, alta o muy alta ($C_c=0.20$ hasta 0.40), y que además tenga muy baja capacidad de carga.

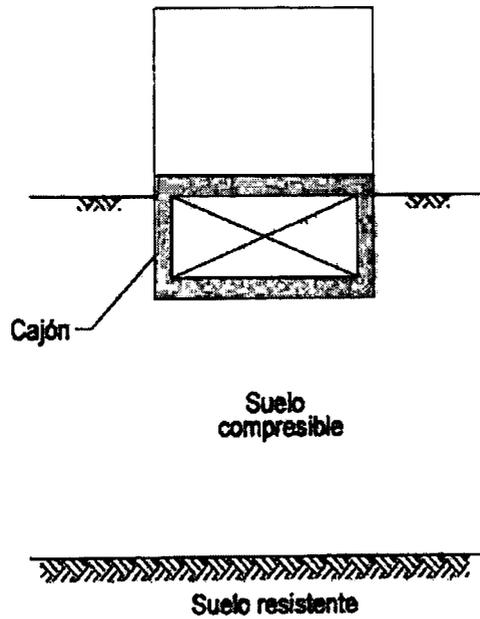


Figura 1.23 Cimentación con cajón.

Con el propósito de evitar que la estructura experimente asentamientos excesivos, es común que las cimentaciones parcialmente compensadas se combinen con pilotes de fricción, figura 1.24.

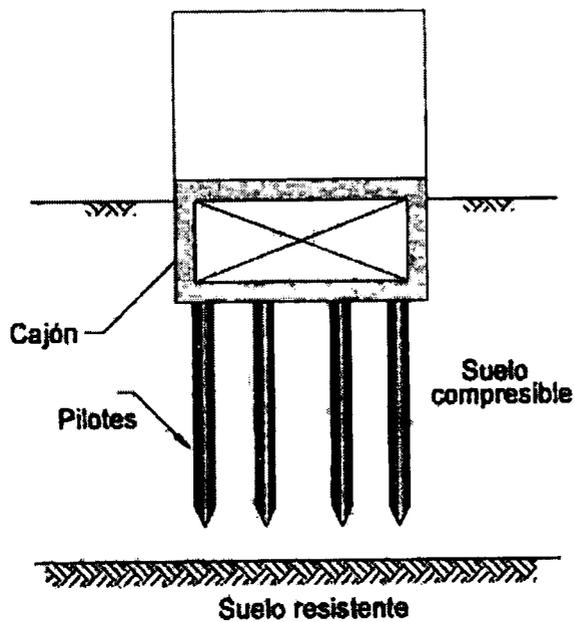


Figura 1.24. Cimentación parcialmente compensada combinada con pilotes de fricción.

1.3.4 Métodos de Análisis de Cimentaciones sobre Arcillas Expansivas.

Cimentaciones Elásticas

El análisis de cimentaciones continuas sobre suelos compresibles implican el cálculo de asentamientos con los métodos más idóneos de acuerdo con el tipo de suelo y tomando en cuenta la no linealidad del comportamiento del mismo.

Existen otros procedimientos que se basan en la suposición de una relación lineal esfuerzo-deformación del suelo y que por ello se prestan a obtener soluciones analíticas cerradas. En el modelo más común que adoptan estos métodos, el suelo se sustituye por cama de resortes cada uno de los cuales actúa independientemente de los demás. Este tipo de modelo fue propuesto en el siglo pasado por Winkler, y se representa en la figura 1.25. Según este modelo la presión con que reacciona el suelo ante la carga transmitida por la cimentación es proporcional al hundimiento que ésta presenta en el punto en cuestión. A la constante de proporcionalidad se le llama **Módulo de reacción**. Así se establece la siguiente relación (Meli, 2001):

$$P=Ks \cdot y \quad (1.3)$$

Donde;

P =Presión (carga por unidad de área), ejercida por la cimentación.

y = Es el asentamiento en el punto considerado.

Ks = Módulo de reacción(kg/cm^3).

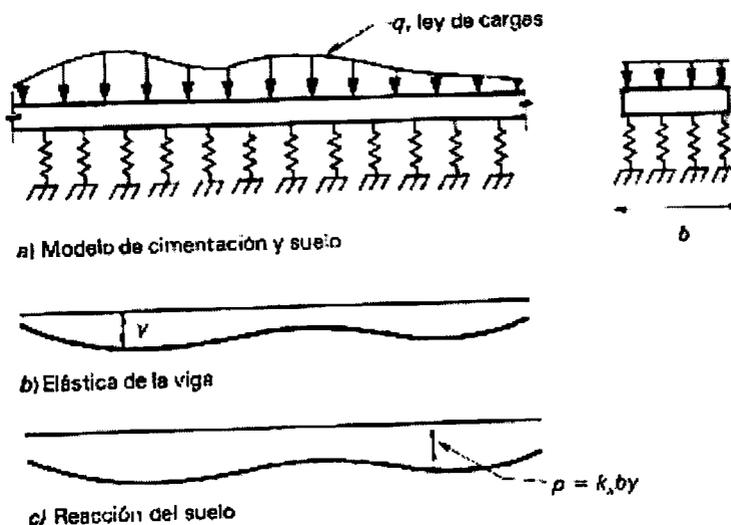


Figura 1.25 Viga sobre resortes elásticos.

El mismo Terzaghi propuso valores del módulo de reacción para suelos comunes en distintas condiciones. Estos valores se presentan en la tabla 1.2 y deben tomarse como índices aproximados ya que, como se ha mencionado repetidamente, las propiedades elásticas de los suelos tienen grandes variaciones de acuerdo con un gran número de factores. En forma particular, la rigidez del suelo varía en forma importante según el tiempo en que permanecen actuando las cargas. En la tabla se recomienda reducir a la cuarta parte los módulos de elasticidad y de reacción cuando se trate de cargas permanentes (Meli, 2001). Sin embargo, en ciertos tipos de suelo la reducción puede ser mayor.

Tabla 1.2 Valores del módulo de elasticidad, E_s , y el módulo de reacción K_{s1} , para diferentes tipos de suelo.

Tipo de suelo	E_s (kg/cm^2)	k_{s1} (Kg/cm^3)
** Suelo fangoso	11.00 a 33.00	0.50 a 1.50
* Arena seca o húmeda, suelta (N_s 3 a 9)	0.16H a 0.48H	1.20 a 3.60
* Arena seca o húmeda, media (N_s 9 a 30)	0.48H a 1.60H	3.60 a 12.00
* Arena seca o húmeda, densa (N_s 30 a 50)	1.60H a 3.20H	12.00 a 24.00
* Grava fina con arena fina	1.07H a 1.33H	8.00 a 10.00
* Grava media con arena fina	1.33H a 1.60H	10.0 a 12.00
* Grava media con arena gruesa	1.60H a 2.00H	12.00 a 15.00
* Grava gruesa con arena gruesa	2.00H a 2.66H	15.00 a 20.00
* Grava gruesa firmemente estratificada	2.66H a 5.32H	20.00 a 40.00
** Arcilla blanda (q_u 0.25 a 0.50 kg/cm^2)	15 a 30	0.85 a 1.30
** Arcilla media (q_u 0.50 a 2.00 kg/cm^2)	30 a 90	1.30 a 4.00
** Arcilla compacta (q_u 2.00 a 4.00 kg/cm^2)	90 a 180	4.00 a 8.00
Arcilla margosa dura (q_u 4.00 a 10.00 kg/cm^2)	180 a 480	8.00 a 21.00
Marga arenosa rígida	480 a 1000	21.00 a 44.00
Arena de miga y tosco	500 a 2500	22 a 110
Marga	500 a 50000	22 a 2200
Caliza margosa alterada	3500 a 5000	150 a 220
Caliza sana	20000 a 800000	885 a 36000
Granito meteorizado	700 a 200000	30 a 9000
Granito sano	40000 a 800000	1700 a 3600

N_s Indica número de golpes en una prueba de penetración estándar.

H = Profundidad de desplante de la cimentación, cm

* = Los terrenos granulares si están sumergidos se tomarán con una E_s o K_{s1} igual a los de la tabla multiplicados por 0.60.

** = Los valores considerados corresponden a cargas de corta duración.

Si se consideran cargas permanentes que produzcan consolidación, se multiplicarán los valores E y k_{s1} de la tabla por 0.25.

q_u = Resistencia del suelo

1) Método de Lytton.

El método de Lytton está apoyado en dos principios:

1) Supone ante la imposibilidad de poderla determinar a partir de la información de campo, un mecanismo de distorsión de la rasante, la forma en que se representa esta distorsión deberá corresponder a aquella que proporcione los peores momentos, cortantes y deflexiones que conduzcan al diseño de la losa;

2) Señala que deben ser tomados en cuenta, para un diseño racional de la losa, las propiedades del suelo y de la losa, así como las cargas de la estructura.

El primer principio nos lleva a considerar las situaciones extremas que se muestran en la siguiente figura 1.27. Condiciones extremas que pueden presentarse en una losa apoyada en suelo expansivo. Las diferencias de hinchamiento son ocasionadas por no ser simultáneos los procesos de secado y humedecimientos entre el centro y la orilla, es más fácil que ésta última se seque o se moje que el centro lejano y cubierto (Lytton, R.L. and Woodburn, J. A.; 1973).

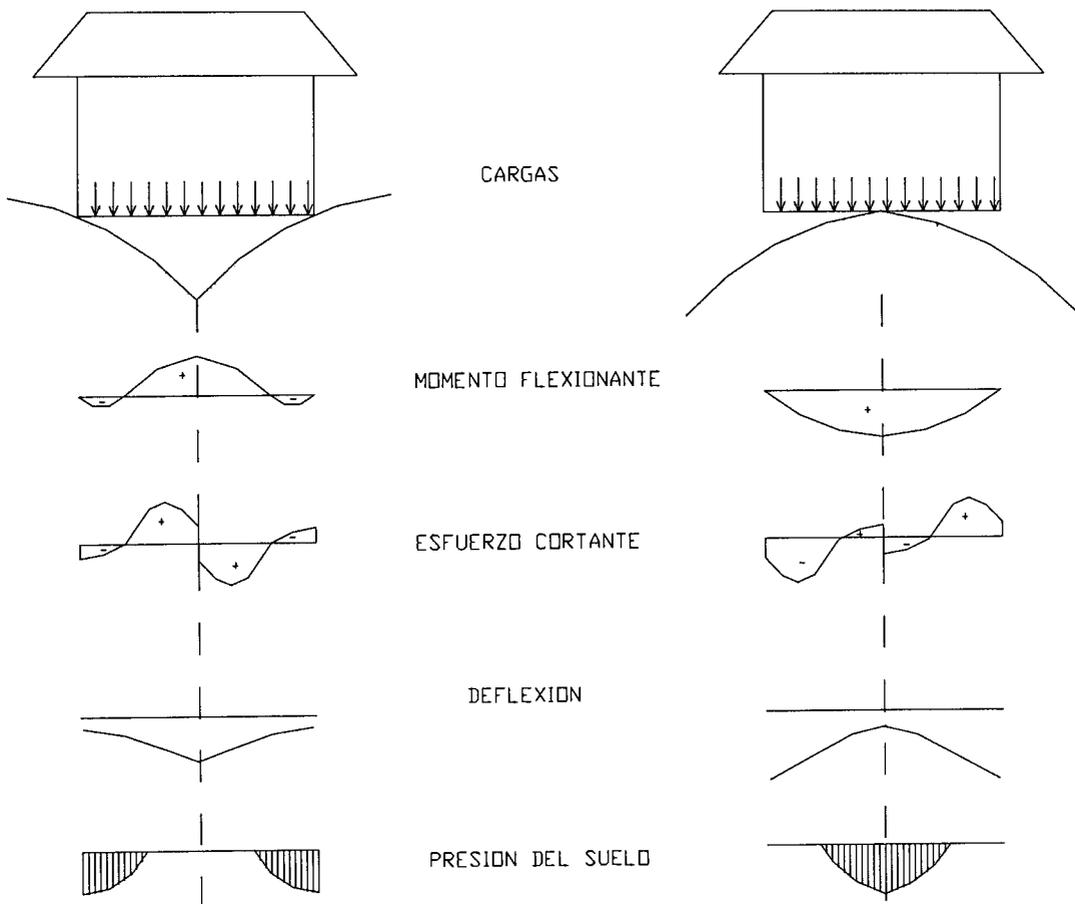


Figura 1.27 Condiciones extremas que pueden presentarse en una losa apoyada en suelo expansivo.

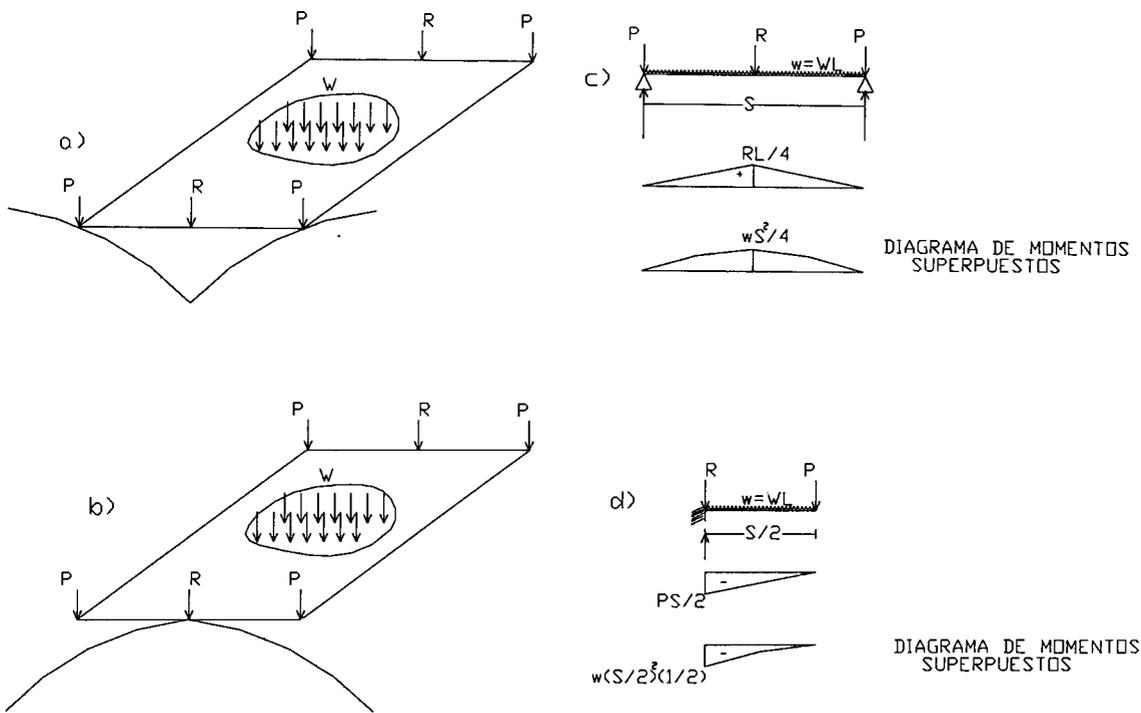


Figura 1.28 Cargas actuantes sobre la losa de cimentación en sus condiciones críticas.

La figura 1.28 muestra una losa a las condiciones críticas mencionadas antes, P y R son cargas concentradas provenientes de las columnas y W es la carga uniforme que actúa en toda la superficie de la losa.

Las representaciones matemáticas de la figura 1.28 a) y b) se muestran en c) y d) respectivamente, en éstas aparece el producto $WL=w$ que viene siendo la proyección de la carga uniforme en la dirección corta, convirtiendo así la carga por superficie en carga lineal. Aplicando estática simple a los casos c y d de la figura 1.28 obtenemos:

$$M_{\max} = \frac{RS}{4} + w \frac{s^2}{8} \quad (1.7)$$

$$M_{\max} = -\frac{PS}{2} - w \frac{s^2}{8} \quad (1.8)$$

Este valor de Momento máximo, no ocurre en la realidad ya que la compresibilidad del suelo atenúa los efectos crecientes, esto se toma en cuenta por medio del momento correctivo:

$$M_c = Cw \frac{S^2}{8} \quad (1.9)$$

Donde:

C= Índice de soporte.

Factores que influyen la Expansión.

- *Condición inicial del suelo.* Las losas colocadas en lugares donde ocasionalmente la humedad cambia presentaron una cantidad limitada de expansiones en las orillas.
- *Sitios con pendiente.* En puntos donde la superficie de la losa muestra pendiente hacia orillas de la losa se presentaran posibles distorsiones locales excesivas.
- *Sequía por árboles.* Si una gran cantidad de árboles están plantados muy cerca de la losa sus raíces extraerán la humedad del suelo provocando posiblemente asentamientos en zonas específicas.
- *Zonas de Jardinería.* Si la losa está parcialmente rodeada de césped y arbustos o áreas pavimentadas con algunas zonas con su superficie original provocarán variaciones de humedad en las orillas. Ocasionando esto variaciones en la sección.

Acción básica de la losa.

- Suelos Arcillosos en áreas semiáridas son sujetas a cambios de humedad del suelo debido a la temporada en sus pocos metros de profundidad que pesan en cambios de volumen cíclicos y así se originarán movimientos verticales.
- El Movimiento Vertical originado de un estado temporalmente hablando húmedo a un seco de un arcilla es definida como un levantamiento temporal.
- Factores que controlan la magnitud de el levantamiento temporal en una posición particular son discutidos por Holland y Lawrence.
- Cuando una cobertura superficial impermeable, o una losa es colocada sobre un arcilla expansiva el patrón de los cambios de humedad temporales del suelo arcilloso serán alterados, hasta la evaporación superficial Fig. 1.29a. Si la posición está muy seca cuando una losa completamente flexible es colocada sobre una arcilla, el levantamiento y humedecimiento de la orilla del arcilla subyacente propiciará inicialmente el desarrollo del levantamiento de las orillas, modo de distorsión de losa Fig.1.29b.
- Teóricamente con el tiempo el levantamiento bajo la losa progresará lentamente adentro Fig. 1.29c y 1.29d. Hasta últimamente un levantamiento central se formará bajo la losa fig.1.29e.
- Hay mucha evidencia de observaciones y de investigación para sugerir que losas de cimentación para viviendas pueden finalmente no desarrollar un modo de distorsión de levantamiento al centro.
- Esta condición indefinida de levantamiento en la orilla probablemente resulta del hinchamiento del arcilla bajo las orillas de la losa reduciendo drásticamente la

permeabilidad del suelo arcilloso, y así deteniendo efectivamente el flujo de agua bajo la losa entera.

- En lugares muy pobremente drenadas, donde las losas son colocadas sobre arcillas muy secas y fuertemente fisuradas es factible que el flujo de agua migrará bajo la losa entera rápido para permitir el desarrollo de un situación de levantamiento al centro.
- En éste término, el suelo alrededor y bajo las orillas de la losa continuará levantándose y bajando dependiendo de la temporada, así que si cargamos las orillas por encima de una distancia comúnmente referida como distancia a la orilla "e" fig.1.29e. Sin embargo, si la losa es suficientemente rígida esta no flexionará la superestructura.
- El diseño económico de una losa de cimentación actual consiste en hacerla suficientemente rígida, así que ninguna deflexión de la losa no afectara para distorsionar la superestructura lo suficiente para causar cuarteaduras en los muros o aplastamiento de puertas y ventanas debido a que el desarrollo del hinchamiento o al cambio de humedad por temporada bajo las orillas de la losa.
- Si una losa es colocada en un lugar muy húmedo, existirá efectivamente un levantamiento, así que únicamente el suelo arcilloso bajo la losa que experimente cambios de humedad necesitará ser acomodada por la losa.

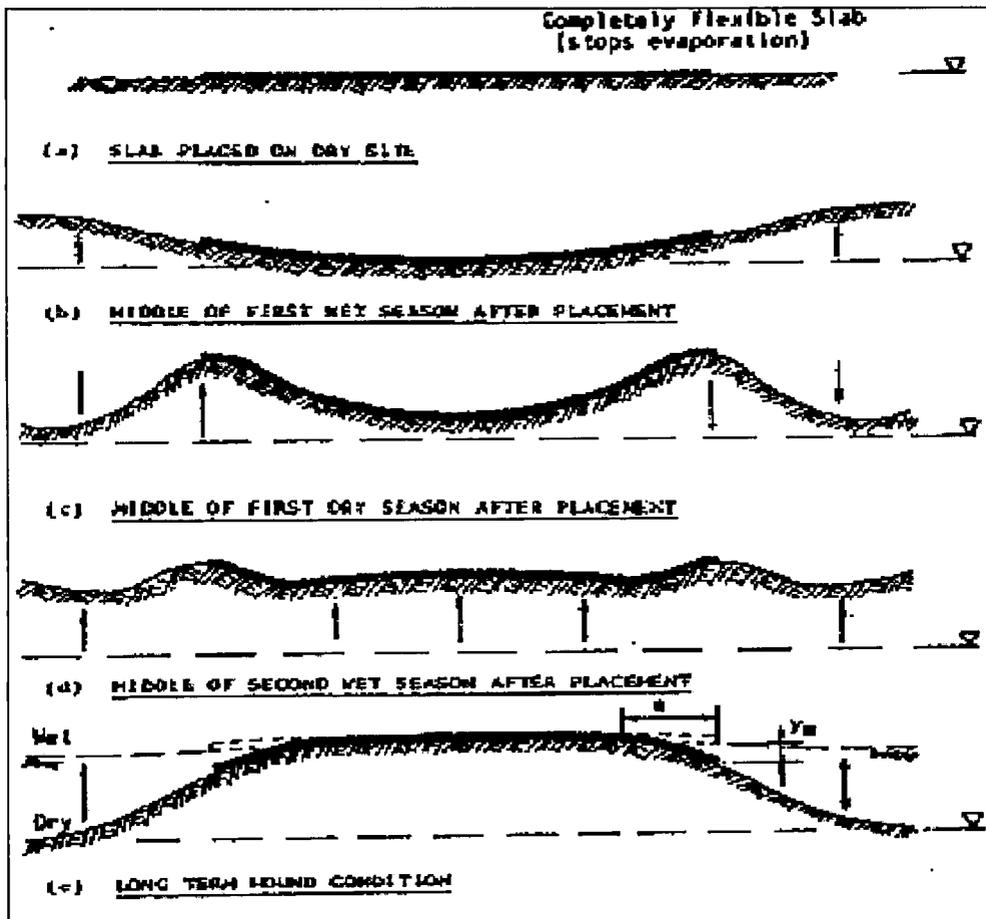


Figura 1.29 Montículo idealizado desarrollado.

Este método de Swinburne fue desarrollado a partir de un exhaustivo análisis de una versión modificada del método de Fraser y Wardle y de una conducta observada al construir experimentalmente, losas.

HIPÓTESIS:

- El modelo de losa – suelo y sus factores de control están dados en la siguiente Tabla:

MÉTODO DE DISEÑO	SWINBURNE
Carga sobre la losa y forma inicial del montículo	
Acción de la losa considerada	Tridimensional riguroso
Determinación de factores que controlan la forma inicial del montículo	"e" y "ym" estimados por procedimientos propuestos por Holland y Lawrence.
Cálculo de I	Inagrietada usando toda la sección transversal
Mod. Elast, del concreto 28 días	0.50 E _c
Tipo de refuerzo	Rebar y/o post - tensado

- El módulo de elasticidad y la relación de Poisson:

1150 p.s.i. (8 Mpa) y 0.40

- En condición larga, módulo de elasticidad del concreto y relación de Poisson:

$$0.5(5056 \sqrt{f'c}) \dots f'c = \text{Mpa} \quad (1.16)$$

- El esfuerzo cortante no es significativo.
- Carga normal puntual y doble piso, producen el mismo efecto en el modelo de losa/suelo.
- Aunque se levante el borde, que es el caso más probable en la construcción actual de losas, es una desventaja para el diseño el caso crítico.
- Desde los valores recomendados de tensión en las losas, varían grandemente, un conservador esfuerzo efectivo es de 75 p.s.i. (0.50 Mpa) ha sido adoptado.
- Esfuerzo de ruptura del concreto " f_t "

$$0.35 (\sqrt{f'c}) \dots F'c = \text{Mpa} \quad (1.17)$$

- Postensado: $0.35 (\sqrt{f'c}) + 0.50 \dots F'c = \text{Mpa}$
- Las fibras de acero, módulo de ruptura/ factor de seguridad, dependen de un diseño mixto.
- Acero en vigas de la losa (A_{sb}).

$$A_{sb} = 0.20bd/100 \quad (\text{mm}^2/\text{barra}) \quad (1.18)$$

Dos ayudas de diseño fueron formuladas por este método y son las siguientes (Gráfico 1 y 2 , Fig. 1.30) para el cálculo de los momentos de las losas y las deflexiones respectivamente.

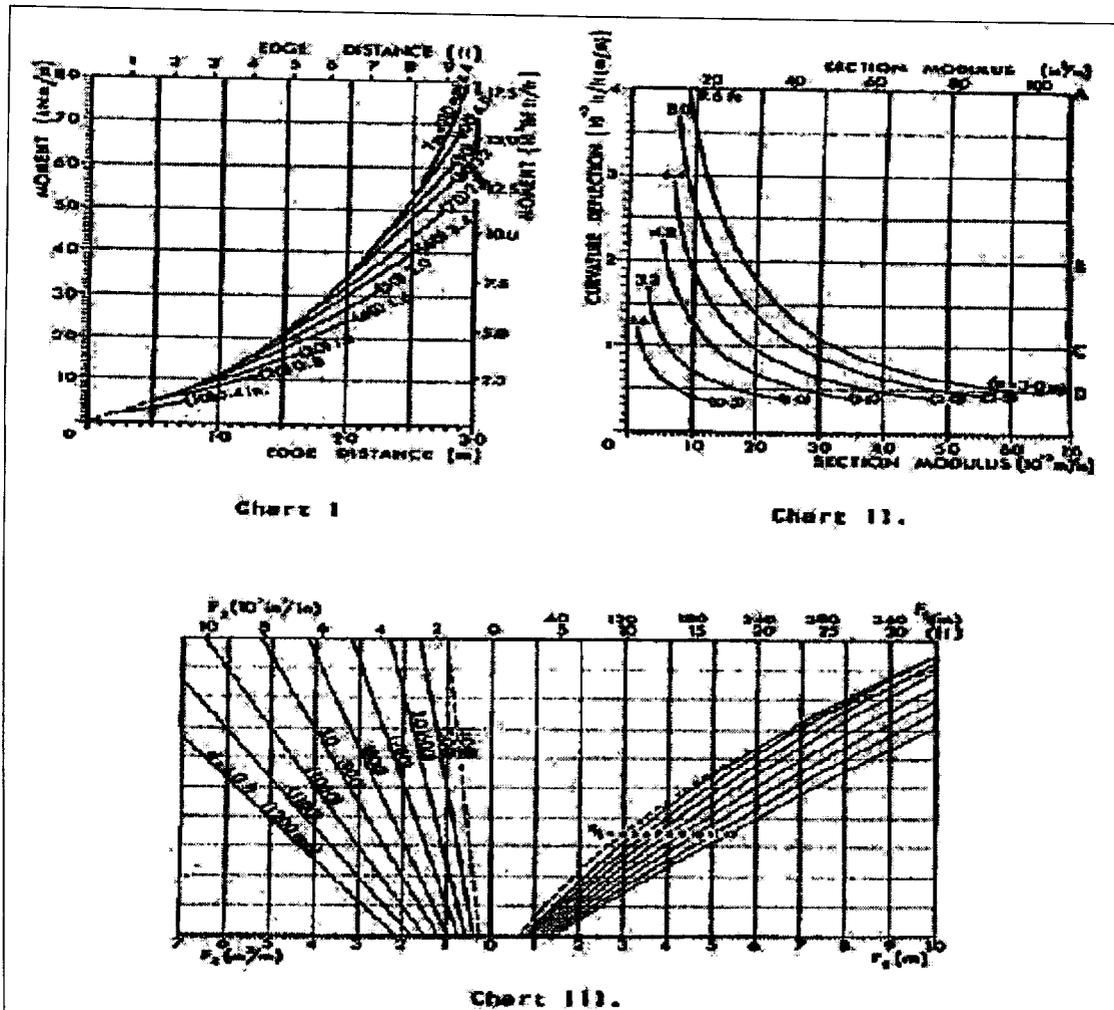


Figura 1.30 Gráficas para el Método de Swinburne.

El gráfico 3 de la figura 1.30 fue derivado para permitir la solución directa de la viga a profundidad sin usar un proceso de prueba y error.

DATOS NECESARIOS PARA INICIAR EL DISEÑO

- Distancia al borde $e < 10$ ft (3m)
- Levantamiento diferencial del montículo $\gamma_m < 5$ in (125 mm)
- Dimensión de la losa $L < 100$ ft (30 m)
- Resistencia a la compresión de un cilindro de concreto probado en laboratorio a 28 días $f'_c < 3600$ p.s.i. (25 MPa)
- Ancho de las barras 6 in (150mm) $< b < 16$ in (400mm).
- Espesor de la losa o tablero de losa 3 in (75 mm) $< t < 6$ in (150 mm).

El procedimiento de diseño es como sigue:

1. Dividir la losa en rectángulos sobrepuestos.
2. Elegir un esfuerzo de compresión del concreto f_c de 28 días; el ancho de la barra es "b", el espesor de la losa es "t", y para la Tabla 1.4 seleccionar una apropiada razón de P/T , y el espaciamiento de vigas.
3. Estimar "e" y "ym" y determinar el momento con la figura 1.30 (gráfica 1).
4. Adoptar un concreto con un esfuerzo a la ruptura " f_t ", y calcular el módulo de sección "z", donde
$$z = \text{momento} / f_t$$
5. Determinar la razón actual Δ/L de la figura 1.30 (Gráfica 2). Si la razón Δ/L excede la permisible, incrementar "z" correspondientemente.
6. Calcular el factor de anchura "W" para cada losa rectangular, usando el número de vigas (n) a través de la dimensión rectangular (L), $W=L/(nb)$. Usar el valor máximo de "W" para todo el diseño.
7. Calcular los factores F_z y F_s
$$F_z = Z W / 0.20 \quad (\text{m}^3/\text{m}) \quad (1.19)$$
$$F_s = t(W-1) / 0.20 \quad (\text{m}) \quad (1.20)$$
8. Usando F_z y F_s , determinar la profundidad de la viga (d) directamente, de la figura 1.30 (gráfica 3).
9. Proporción del acero de refuerzo de la tabla 1.4.
10. Si el ancho de las losas es mayor de 30 in (75cm), es necesario hacer una reconsideración para reducir el valor de "e" y rediseñar la losa.

Tabla 1.3 RAZONES Δ/L PERMITIDAS (curvaturas de deflexión)

CODIGO	TIPO DE SUPERESTRUCTURA	Δ/L
A	Madera de construcción repellada y articulada, ladrillo chapeado	1 en 250
B	Ladrillo chapeado	1 en 500
C	Articulación completa ladrillo sólido	1 en 1,000
D	Ladrillo sólido	1 en 2,000

Tabla 1.4 RECOMENDACIONES DEL ESPACIAMIENTO ENTRE VIGAS Y REFUERZO EN LOS TABLEROS DE LA LOSA

Distancia al borde "e" Ft (m)	LOSAS		P/T LOSA		FIBRA DE ACERO
	Acero $\ln^2/\text{in} \times 10^{-3}$ (mm ² /m)	Máx. Espaciamiento entre las vigas Ft (m)	Espaciamiento del cable Ft (m)	Máx. Espaciamiento entre las vigas Ft (m)	Máximo espaciamento entre las barras Ft (m)
$e < 1.5$ (0.50)	7.4 (190) (F72)	No hay barras intermedias	6.6 (2.0)	No hay barras intermedias	Depende de la mezcla
$1.5 < e < 3.0$ $0.5 < e < 1.0$	9.7(250) (F82)	20 (6.0)	6.0 (1.8)	26 (8.0)	
$e > 3$ (1.0)	9.7(250) (F82)	14 (4.5)	5.0 (1.6)	20 (6.0)	

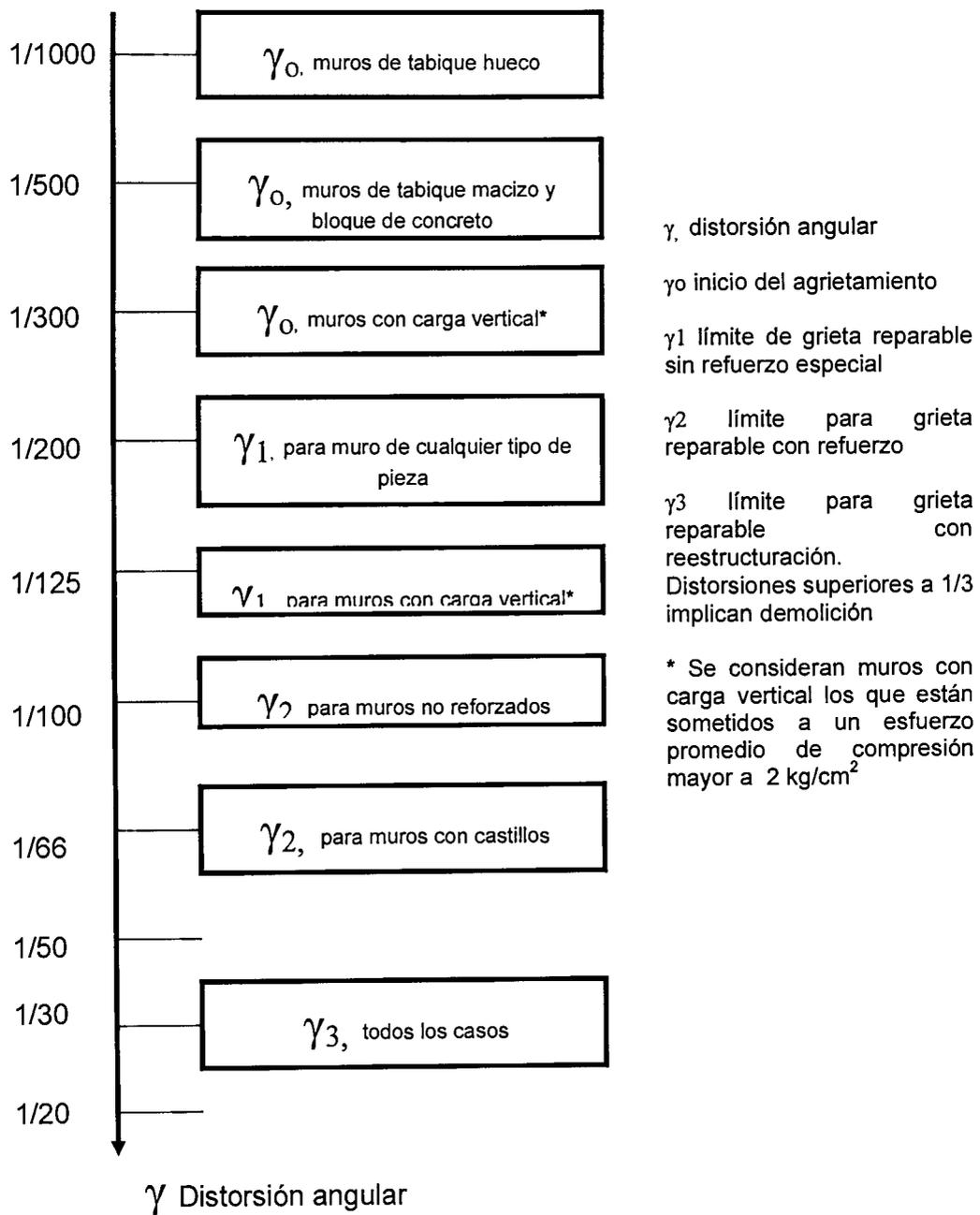


Figura 1.31 Relación entre la distribución angular por hundimientos diferenciales y el nivel de daños en construcciones con muros de mampostería (Meli, 2001).

1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La cimentación de construcciones ligeras, en terrenos arcillosos expansivos, como casas habitación (un nivel), que descargan al suelo en promedio de 0.7 y 2.5 Ton/m² en sus cadenas de desplante comunes (armex o armados por especificación), se les observa ciertas deficiencias estructurales, afirmación respaldada por la presencia de grietas en casas, que incluso aún no han sido terminadas y mucho menos habitadas, otro caso es el agrietamiento a largo plazo, es decir casas ya habitadas, que generan a los usuarios, un sentimiento de temor.

Una deficiencia estructural quizá se deba a una sobreestimación de cálculo estructural a una construcción que se ha caracterizado por ser demasiado rígidas que transmiten al suelo poca carga. Suelo que en algunas ciudades (México, Querétaro, etc.) eran en el pasado grandes y excelentes tierras de cultivo, suelo que en términos ingenieriles conocemos con el nombre de "suelo arcilloso".

Estas áreas de terreno han sido las preferidas por los inversionistas constructores por su bajo costo en cimentaciones (ya que en esta etapa se invierte un 15 o 20% del presupuesto), debido a su nivelación de terreno y poca intervención de maquinaria pesada. Es por ello que en cualquier ciudad siempre la mancha urbana se extiende primero en zonas planas.

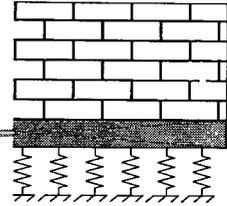
El problema de estas construcciones se debe a que en la práctica no se hace un buen estudio del comportamiento del suelo en sus **estados más críticos**, (cambios de expansión a contracción y viceversa). Estados que nos producen movimientos diferenciales debidos a la heterogeneidad del suelo y por consiguiente grietas en los muros.

El procedimiento en la práctica más usual es el llamado "Sustitución de suelo", en el que se sustituye una parte del terreno natural arcilloso (superficial de espesor igual a 0.5 a 1.00 m), por un material inerte, que en su mayoría es una arena limosa (mejor conocida como tepetate), que a su vez se compacta bajo un estándar de prueba PROCTOR al 90%. Evadiendo así una realización completa de un estudio de Mecánica de Suelos.

Un estudio de mecánica de suelos es de gran utilidad permitiendo caracterizar el suelo y evaluar su potencial expansivo, así tenemos suficiente información para realizar un buen diseño estructural en cimentación.

Como es de notarse el problema citado no es por capacidad de carga sino más bien, por el potencial expansivo del terreno ante poca carga, es decir el levantamiento diferencial de construcciones que generan grietas en las mismas. Situación que se genera al hidratarse o deshidratarse (por lluvias ó fugas de agua en instalaciones y sequías respectivamente) en cierto momento y en cualquier punto de la cimentación con diferente intensidad.

M E T O D O L O G Í A



Se procedió a hacer una recopilación del estado del arte, en particular sobre los aspectos fundamentales del suelo arcilloso expansivo, se investigaron temas como: su caracterización, grado de expansividad, límites de consistencia, etc. Se estudiaron los diferentes tipos de cimentación así como su modalidad de análisis y algunas recomendaciones de diseño estructural.

Se cuestionó la problemática de las casas habitación ante constantes fisuramientos de muros. Se procedió a aislar las variables más importantes que intervenían en el fenómeno, tanto correspondiente al suelo (presión de expansión y módulo de reacción) como de la estructura (rigidez). Se identificarán varios de los problemas causantes de estas fisuras (distorsiones angulares excesivas a las permisibles en mamposterías y muros).

La solución para minimizar los efectos de las distorsiones angulares consistirá en rigidizar las trabes de cimentación a tal grado que no sobrepase las distorsiones angulares permisibles para muros de mampostería de tal forma que ya no generen fisuras en los mismos. Este fenómeno se puede asociar y evaluar los resultados, gracias a la modelación de la cimentación a base de elementos finitos, con el programa ANSYS.

La diversidad de elementos finitos, contenidos en el programa ANSYS, permitió elegir el adecuado para el estudio de la interacción suelo-estructura, una vez estudiado detalladamente, concluimos que el elegido sería el elemento finito denominado BEAM44. El cual representa una viga 3-D sujeta a tensión, compresión, torsión y capacidad de flexión, con 6 grados de libertad en cada extremo. La característica esencial de este elemento y que nos permitirá llevar a cabo este análisis, es su capacidad de incluir en la matriz de rigidez el efecto del suelo representado a través de su módulo de rigidez que equivale en principio a considerar el modelo denominado Winkler y que asocia la respuesta del suelo a un módulo de rigidez y proporcional a su deflexión, es decir:

$$R(x) = k \cdot W(x)$$

Siendo:

R(x): Reacción del suelo

K: Modulo de rigidez

W(x): Deflexión de la interfase.

ENFOQUE GENERAL DEL PROGRAMA DE MODELACIÓN.

El análisis que se pretende lograr con el programa de modelación es de elegir aleatoriamente N elementos finitos a los cuales se les aplicará la presión de expansión sobre el ancho de contacto de las trabes "b" y que a su vez será contrarrestada con el peso de las cargas muertas y vivas de servicio actuantes sobre la estructura, éste formará uno de M escenarios distintos de análisis, donde la variante la formará los diferentes números de elementos aleatorios. Como resultado obtendremos: asentamientos diferenciales, distorsiones angulares y los elementos mecánicos (Fuerza Cortante y Momento Flexionante) de la retícula. Los cuales nos ayudarán a tomar decisiones razonadas sobre el diseño estructural de la cimentación.

Se establecerá una metodología con una secuencia de etapas a seguir en el proceso de modelación y análisis de una cimentación a base de trabes. Se ejemplificará con una cimentación de casa habitación, de un nivel, y que contemplará desde el proyecto arquitectónico, pasando por la bajada de cargas (con sus especificaciones), hasta la obtención de resultados.

2.1 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

Por lo anterior propondremos una cimentación a base de trabes peraltadas, las cuales su área de contacto (ancho "b" de la trabe), es mucho menor que las cimentaciones convencionales (zapatas corridas). Área que minimizará la presión de expansión ejercida sobre la base de la cimentación de trabes.

Analizando el problema planteado tenemos el siguiente punto por resolver:

- a) *La realización de un análisis de cimentación en donde involucre el desarrollo de las presiones de expansión en distintos puntos aleatorios de manera simultánea en la cimentación, situación que propiciará un escenario de esfuerzos críticos con movimientos diferenciales, por analizar.*

Este proceso de análisis se hará con ayuda del programa de Modelación de **ANSYS**, el cual permitirá modelar la cimentación a base de elementos finitos bajo los efectos de la presión de expansión máxima del suelo.

Por otra parte, el análisis en diferentes puntos aleatorios se hará con ayuda del algoritmo "**Random**". Algoritmo que reproduce el fenómeno aleatorio del desarrollo de la presión de expansión en los elementos finitos.

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS

En este apartado se presentará la base teórica para el procedimiento de análisis. La derivación de las matrices del elemento individual y de los vectores de carga se discute en la derivación de las matrices estructurales.

2.2.1 Ecuación General de Análisis

El método de análisis de la matriz de desplazamiento basado en la idealización del elemento finito, la estructura que es analizada se debe aproximar como un ensamble de las regiones discretas (llamados elementos) conectados en un número finito de puntos (llamados nodos). Si la relación fuerza-desplazamiento de cada uno de esos elementos estructurales discretos es conocido (los elementos de la matriz de rigidez) entonces la relación fuerza-desplazamiento para la estructura completa puede ser ensamblado usando métodos matriciales normal. Los análisis termal, flujo fluido y electromagnéticos son hechos sobre una base análoga substituyendo las palabras antedichas por los términos apropiados. Los términos desplazamiento, fuerza y rigidez serán usados con frecuencia, aunque se entiende que los conceptos se aplican también a todos los efectos válidos.

Todos los tipos de análisis para problemas iterativos o transitorios reutilizan automáticamente las matrices del elemento o la matriz estructural total siempre que sea aplicable.

ANÁLISIS ESTÁTICO.

Consideraciones y Restricciones.

El análisis estático (ANTYPE, ESTATICO) es el método de solución para todos los grados de libertad (DOFs). Los efectos de inercia y amortiguamiento son ignorados, a excepción de campos de la aceleración estática.

Descripción del sistema estructural.

Las ecuaciones totales de equilibrio para el análisis estático estructural lineal es:

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (2.1)$$

ó

$$[K]\{U\} = \{F^a\} + \{F^r\} \quad (2.2)$$

Donde:

$[K]$ = La matriz global de rigidez = $\sum_{m=1}^N [K_e]$

$\{U\}$ = Vector nodal de desplazamiento.

$[N]$ = Número de elementos.

[Ke]= Matriz de rigidez del elemento.

[F^r]= Vector de reacción debido a la carga.

[F^a]= Vector de aplicación total de carga, que está definido por:

$$\{F^a\} = \{F^{nd}\} + \{F^{ac}\} + \sum_{m=1}^N [\{F e^{th}\} + \{F e^{pr}\}] \quad (2.3)$$

Donde:

{Fnd}=Vector de carga aplicada en el nodo.

{F^{ac}}=-[M]{a_c}=Vector de la carga de aceleración.

[M]=Matriz total de la masa= $\sum_{m=1}^N [M e]$

[M_c]=Matriz de la masa del elemento.

{a_c}=Vector total de aceleración.

[F eth]=Vector de carga del elemento termal.

[F e^{pr}]= Vector de carga de la presión del elemento.

2.2.2 Estructuras Fundamentales

Relación Esfuerzo-Deformación

Esta sección discute las relaciones de materiales para materiales lineales. Los materiales no lineales se discuten en estructuras con materiales no lineales. El esfuerzo se relaciona con la deformación mediante la siguiente expresión:

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon^{el}\} \quad (2.4)$$

Donde:

{σ} = vector de esfuerzo = $\begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \sigma_{xy} & \sigma_{yz} & \sigma_{xz} \end{bmatrix}^T$ (salida como S)

[D] = matriz de rigidez de elasticidad o elástica ó matriz de esfuerzo-deformación (definida

en la ecuación 2.17 a la ecuación 2.22) o lo contrario definido en la ecuación 2.7 o, para algunos elementos anisotrópicos, definido como Definición Completa de la Matriz (entrada con **TB**, ANEL.)

$\{\epsilon^{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon^{th}\}$ = vector elástico de deformación (salida como EPEL)

$\{\epsilon\}$ = vector total de deformación = $\begin{bmatrix} \epsilon_x & \epsilon_y & \epsilon_z & \epsilon_{xy} & \epsilon_{yz} & \epsilon_{xz} \end{bmatrix}^T$

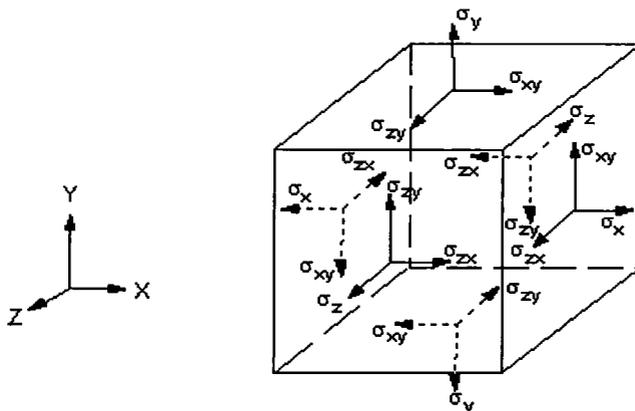
$\{\epsilon^{th}\}$ = vector termal de deformación (definido en la ecuación 2.6) (salida como EPTH)

Observe que $\{\epsilon^{el}\}$ (salida como EPEL) son las deformaciones que causan los esfuerzos.

Nota. Una cantidad relacionada usada en POST1 etiquetado "Componente de Deformación Total" (salida como EPTO) se describe en estructuras con materiales no lineales.

El vector esfuerzo se muestra en la figura de abajo. El uso en la convención de signos para esfuerzos directos y deformaciones usadas en el programa de ANSYS son; la tensión es positiva y la compresión es negativa. Para los cortantes, es positivo cuando las dos ejes positivos aplicables rotan hacia uno a otro. Las deformaciones del cortante son deformaciones de cortante de ingeniería, no tensiones de deformación cortante.

Definición del Vector Esfuerzo.



La ecuación 2.4 se puede también invertir a:

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon^{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma\} \quad (2.5)$$

Para el caso tridimensional, el vector termal de deformación es:

$$\{\epsilon^{th}\} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_x & \alpha_y & \alpha_z & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (2.6)$$

Donde:

α_x = coeficiente termal de expansión en la dirección de x (entrada como ALPX en comando de la P. M.)

$\Delta T = T - T_{REF}$

T = temperatura actual en el punto en cuestión.

T_{REF} = Referencia (tensión-libre) de temperatura (entrada en comando de TREF)

La matriz de la flexibilidad o de conformidad, $[D]^{-1}$ es:

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -v_{xy}/E_x & -v_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -v_{yx}/E_y & 1/E_y & -v_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -v_{zx}/E_z & -v_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Donde los términos típico están:

E_x = módulo de Young en la dirección de x (entrada como EX en comando de MP.)

v_{xy} = Cociente principal de Poisson (entrada como PRXY en comando de MP).

v_{yx} = Cociente no principal de Poisson (entrada como NUXY en comandode de MP).

G_{xy} = módulo de cortante en el plano xy (entrada como GXY en comando de MP).

También, la matriz $[D]^{-1}$ se presume ser simétrica, de modo que:

$$\frac{v_{yx}}{E_y} = \frac{v_{xy}}{E_x} \quad (2.8)$$

$$\frac{v_{zx}}{E_z} = \frac{v_{xz}}{E_x} \quad (2.9)$$

$$\frac{v_{zy}}{E_z} = \frac{v_{yz}}{E_y} \quad (2.10)$$

Debido a las tres relaciones antedichas, v_{xy} , v_{yz} , v_{xz} , v_{yx} , v_{zy} , y v_{zx} no son cantidades independientes y por lo tanto el usuario debe introducir v_{xy} , v_{yz} , y v_{xz} (entrada como PRXY, PRYZ, y PRXZ), o v_{yx} , v_{zy} , y v_{zx} (entrada como NUXY, NUYZ, y NUXZ). El uso de los cocientes de Poisson para los materiales orthotrópicos causa a veces la confusión, así que deber tenerse cuidado en su uso. Si se asume que E_x es más grande que E_y , v_{xy} (PRXY) es más grande que v_{yx} (NUXY). Por lo tanto, v_{xy} se refiere comúnmente como el "cociente principal de Poisson", porque es más grande que el v_{yx} , que se refiere comúnmente como el "cociente no principal de Poisson". Para materiales orthotrópicos, el usuario necesita investigar de la fuente de datos las propiedades de materiales en cuanto a cuales tipos de entrada es apropiado. En la práctica, los datos de materiales orthotrópicos se proveen lo más a menudo posible en la forma principal (notación-PR). Para los materiales isotrópicos ($E_x = E_y = E_z$ y $v_{xy} = v_{yz} = v_{xz}$), así que no se toma diferencia cual tipo de entrada se use.

Ampliando la ecuación 2.5 con la ecuación 2.6 a la ecuación 2.10 y poniendo las seis ecuaciones en escrito explícitamente:

$$\varepsilon_x = \alpha_x \Delta T + \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{v_{xy} \sigma_y}{E_x} - \frac{v_{xz} \sigma_z}{E_x} \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_y = \alpha_y \Delta T - \frac{v_{xy} \sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{v_{yz} \sigma_z}{E_y} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_z = \alpha_z \Delta T - \frac{\nu_{xz} \sigma_x}{E_x} - \frac{\nu_{yz} \sigma_y}{E_y} + \frac{\sigma_z}{E_z} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{G_{xy}} \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{G_{yz}} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{G_{xz}} \quad (2.16)$$

Donde los términos típicos son:

ε_x = deformación directa en la dirección x.

σ_x = esfuerzo directo en la dirección x.

ε_{xy} = deformación cortante en el plano x-y.

σ_{xy} = esfuerzo cortante en el plano x-y.

Alternativamente, la ecuación 2.4 se puede ampliar por la primera ecuación invertida 2.7 y después combinar ese resultado con la ecuación 2.6 y la ecuación 2.8 a la ecuación 2.10 para dar seis ecuaciones explícitas:

$$\sigma_x = \frac{E_x}{h} \left[1 - (\nu_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y} \right] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} (\nu_{xy}) + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_z}{E_y} \overline{AB} \\ (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} (\nu_{xz} + \nu_{yz} \nu_{xy}) (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (2.17)$$

$$\sigma_y = \frac{E_y}{h} \left[\nu_{xy} + \nu_{xz} \nu_{yz} \frac{E_z}{E_y} \right] (\varepsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_y}{h} \left[1 - (\nu_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x} \right] \\ (\varepsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} \left[\nu_{yz} + \nu_{xz} \nu_{xy} \frac{E_y}{E_x} \right] (\varepsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (2.18)$$

$$\sigma_z = \frac{E_z}{h}(v_{xz} + v_{yz}v_{xy})(\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + \frac{E_z}{h} \left(v_{yz} + v_{xz}v_{xy} \frac{E_y}{E_x} \right) (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + \frac{E_z}{h} \left(1 - (v_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x} \right) (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (2.19)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \epsilon_{xy} \quad (2.20)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \epsilon_{yz} \quad (2.21)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz} \quad (2.22)$$

Donde:

$$h = 1 - (v_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x} - (v_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y} - (v_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x} - 2v_{xy}v_{yz}v_{xz} \frac{E_z}{E_x} \quad (2.23)$$

Si los módulos G del cortante G_{xy} , G_{yz} , y G_{xz} no entran para los materiales isotrópicos, se computan como:

$$G_{xy} = G_{yz} = G_{xz} = \frac{E_x}{2(1 + \nu_{xy})} \quad (2.24)$$

Para los materiales orthotrópicos, el usuario necesita investigar de la fuente de los datos de propiedades de materiales en cuanto a los valores correctos de los módulos del cortante, pues no hay defectos proporcionados por el programa.

La matriz [D] debe ser definida positiva. El programa comprueba cada propiedad del material según lo utilizado por cada tipo de elemento activo a asegurarse de que [D] está de hecho definido positivo. Las matrices definidas positivas se definen en "matrices definidas positivas". En el caso de temperatura depende de las propiedades de material, la evaluación se hace en la temperatura uniforme (entrada como BFUNIF, TEMP) para el primer paso de la carga. El material es siempre definido positivo si el material es isotrópico o si ν_{xy} , ν_{yz} , y ν_{xz} son todos cero. Al usar los cocientes principales de Poisson (PRXY, PRYZ, PRXZ), h está definido en la ecuación 2.23 debe ser positivo para que el material sea definido positivo.

2.2.3 Derivación de Matrices Estructurales

El principio del trabajo virtual indica que un cambio (muy pequeño) virtual de la energía de deformación interna se debe compensar por un cambio idéntico en el trabajo externo debido a las cargas aplicadas, o:

$$\delta U = \delta V \quad (2.43)$$

Donde:

U = energía de deformación(trabajo interno) = $U_1 + U_2$

V = trabajo externo = $V_1 + V_2 + V_3$

' δ ' = operador virtual

La energía de deformación virtual es:

$$\delta U_1 = \int_{vol} \{\delta \varepsilon\} \{\sigma\} d(vol)^T \quad (2.44)$$

Donde:

$\{\varepsilon\}$ = vector de deformación

$\{\sigma\}$ = vector de esfuerzo

vol = volumen del elemento

Continuando la derivación si se asume que los materiales y geometría son lineales, la ecuación 2.43 y la ecuación 2.44 se combinan para dar:

$$\delta U_1 = \int_{vol} (\{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \{\delta \varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon^{th}\}) d(vol) \quad (2.45)$$

Las deformaciones se pueden relacionar con los desplazamientos nodales por:

$$\{\varepsilon\} = [B] \{u\} \quad (2.46)$$

Donde:

[B] = matriz de deformación-desplazamiento, basada en las funciones de forma del elemento.

$\{u\}$ = vector nodal de desplazamiento.

Será asumido que todos los efectos están en el sistema cartesiano global.

Combinar la ecuación 2.46 con la ecuación 2.45, y notando de que $\{u\}$ no varía sobre el volumen:

$$\delta U_1 = \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) \{u\} - \{\delta u\}^T \int_{vol} [B]^T [D] \{\varepsilon^{th}\} d(vol) \quad (2.47)$$

Otra forma de energía de deformación virtual es cuando una superficie se mueve contra una resistencia distribuida, como en una cimentación rígida. Esto se puede escribir como:

$$\delta U_2 = \int_{area_f} \{\delta w_n\}^T \{\sigma\} d(area_f) \quad (2.48)$$

Donde:

$\{w_n\}$ = movimiento normal a la superficie

$\{\sigma\}$ = esfuerzo sobre la superficie

área f = área de la resistencia distribuida

Both $\{w_n\}$ y $\{\sigma\}$ tendrá generalmente solamente un componente diferente a cero. El desplazamiento normal del punto-acertado se relaciona con el desplazamiento nodal por:

$$\{w_n\} = [N_n] \{u\} \quad (2.49)$$

Donde:

[N_n] = matriz de funciones de forma para los movimientos normales en la superficie

Combinar las ecuaciones 2.54 y 2.56;

$$\delta V_2 = \{\delta u\}^T \int_{\text{area}_{ap}} [N_n] \{P\} d(\text{area}_p) \quad (2.57)$$

A menos que se indique en forma diferente, las presiones se aplican a la superficie exterior de cada elemento y son normales a las superficies curvadas, si son aplicables.

Las fuerzas nodales aplicadas al elemento se pueden considerar por:

$$\delta V_3 = \{\delta u\}^T \{F_e^{nd}\} \quad (2.58)$$

Donde:

$$\{F_e^{nd}\} = \text{fuerzas nodales aplicadas al elemento}$$

Finalmente, la ecuación 2.43, la ecuación 2.47, la ecuación 2.51, la ecuación 2.55, la ecuación 2.57 y la ecuación 2.58 se pueden combinar para dar:

$$\begin{aligned} & \{\delta u\}^T \int_{\text{vol}} [B]^T [D] [B] d(\text{vol}) \{u\} - \{\delta u\}^T \int_{\text{vol}} [B]^T [D] \{\epsilon^{th}\} d(\text{vol}) \\ & + \{\delta u\}^T k \int_{\text{area}_f} [N_n]^T [N_n] d(\text{area}_f) \{u\} \\ & = -\{\delta u\}^T \rho \int_{\text{vol}} [N]^T [N] d(\text{vol}) \frac{\delta^2}{\delta t^2} \{u\} + \{\delta u\}^T \int_{\text{area}_p} [N_n]^T \{P\} d(\text{area}_p) + \{\delta u\}^T \{F_e^{nd}\} \end{aligned} \quad (2.59)$$

Observando que el vector $\{\delta u\}^T$ es un sistema de desplazamiento virtuales arbitrarias comunes en todos los términos antedichos, la condición requerida para satisfacer la ecuación 2.59 reduce a:

$$([K_e] + [K_e^f]) \{u\} - \{F_e^{th}\} = [M_e] \{\ddot{u}\} + \{F_e^{pr}\} + \{F_e^{nd}\} \quad (2.60)$$

Donde:

$$[K_e] = \int_{\text{vol}} [B]^T [D] [B] d(\text{vol}) = \text{Matriz de Rigideces.}$$

$$[K_e^f] = k \int_{\text{area}_f} [N_n]^T [N_n] d(\text{area}_f) = \text{Matriz de Rigidez de Contacto con el suelo (medio elástico).}$$

$$\{F_e^{th}\} = \int_{\text{vol}} [B]^T [D] \{\epsilon^{th}\} d(\text{vol}) = \text{Vector de Carga termal}$$

$$[M_e] = \rho \int_{\text{vol}} [N]^T [N] d(\text{vol}) = \epsilon \text{ Matriz de masa}$$

$$\{\ddot{u}\} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{u\} = \text{Vector aceleración (efecto de la gravedad).}$$

$$\{F_e^{pr}\} = \int_{\text{area}_p} [N_n]^T \{P\} d(\text{area}_p) = \text{Vector de presión.}$$

2.3 PROGRAMA ANSYS

La modelación de la cimentación a base de trabes peraltadas se hará con el programa: **ANSYS, (Análisis de Sistemas Físicos)**.

Es un software de análisis que aplica la teoría del elemento finito, y que permite al ingeniero realizar las siguientes tareas:

- 1) Modelar estructuras en computadora o transferir de CAD modelos de estructuras, productos, componentes o sistemas.
- 2) Aplicar cargas que operen en otras condiciones de funcionamiento del diseño.
- 3) Estudio de la respuesta física, tales como; los niveles de tensión, distribución de la temperatura, etc.
- 4) Optimiza un diseño preliminar en el proceso de desarrollo para reducir costos de producción.
- 5) Realizar prototipos probándolos en ambientes diferentes, indeseables e imposibles.

Organización del programa ANSYS.

El nivel de inicio, es el que se halla en el menú principal al entrar al programa. Éste también es utilizado para ciertos controles del programa global tales como cambiar el nombre de trabajo, limpiar la base de datos y copiar archivos binarios. Cuando se entra al programa, se está en el nivel begin.

El nivel de Proceso existen, varios procesadores disponibles. Cada procesador es un sistema de las funciones que realizan una tarea específica del análisis. Por ejemplo en el procesador (PREP7), es donde se construye el modelo geométrico y se prepara para el mallado, el procesador de solución (SOLUCIÓN) es donde aplican las condiciones de frontera y se corre el programa, el postprocesador general (POST1) es donde se evalúa, los resultados de una solución. Un postprocesador adicional, POST26, permite evaluar los resultados de la solución en puntos específicos del modelo en función del tiempo.

2.4 BEAM 44

ELEMENTO BEAM44, Viga Asimétrica Elástica en 3-Dimensiones.

Dentro de los elementos finitos con que trabaja el programa ANSYS, hallamos el BEAM44, el cual es de interés particular para la modelación del ejemplo de cimentación a base de traves peraltadas.

1) Descripción.

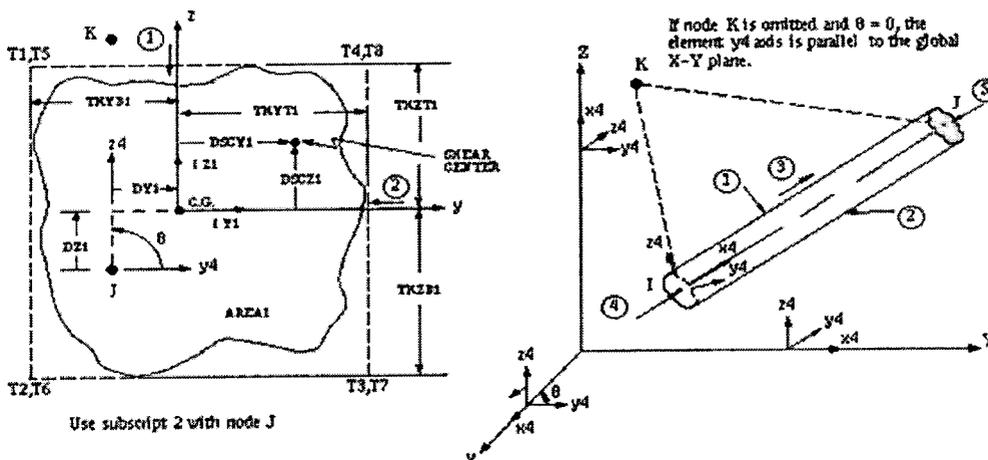
- 1) Es un elemento uniaxial con tensión, compresión, torsión y capacidad de flexión.
- 2) El elemento tiene seis grados de libertad en cada nodo, actuando en dirección nodal x , y , z así como la rotación nodal en los ejes x , y , z .
- 3) Éste elemento permite una diversa geometría asimétrica en cada extremo y permite que los nodos del final sean compensados del eje centroidal de la viga. Si estas características no se desean, la viga simétrica uniforme BEAM4 puede ser utilizada.

BEAM44 se puede utilizar con cualquier sección transversal que fuera definida usando SECTYPE, SECDATA, SECOFFSET, SECWRITE Y SECREAD. Sin embargo una sección definida con estos comandos será utilizada solamente si no hay una constante real definida.

El efecto de la deformación por cortante está disponible como opción. Otra opción está disponible para imprimir las fuerzas que actúan en el elemento en las direcciones de las coordenadas del elemento. La rigidez de la tensión y las capacidades grandes de deflexión también se incluyen.

La geometría, la localización de nodos, y sistema de coordenadas para este elemento se muestran en la siguiente figura:

Figura 2.1 Viga Asimétrica Afilada Tridimensional, BEAM44 .



2) Datos de entrada.

El elemento esta ubicado por un sistema de referencia coordenados (x',y',z') y "desplazamientos". El sistema de referencia esta definido por nodos I,J y K , o una orientación angular, como lo muestra la figura anterior. Los principales ejes de la viga están es sistemas coordenados del elemento(x,y,z), con x a lo largo del centro del elemento ,centro de gravedad de la seccionado transversal.

El elemento en su eje x es orientado del nodo I (extremo 1) al nodo J (extremo 2). Para el segundo nodo toma por default ($\theta=0^\circ$) la orientación del elemento en el eje es calculado automáticamente para ser paralelo al plano general x,y . En la figura se muestran varias orientaciones. Para el caso donde el elemento es paralelo al eje general z , el eje y del elemento es orientado paralelo al eje general y (como se ve en la figura). Para controlar la orientación del elemento en su eje x del elemento, debe usarse el ángulo θ , ó el tercer nodo como opción. Si se definen ambos, el tercer nodo toma precedencia. El tercer nodo K, si es usado, define un plano (con I y J), conteniendo los ejes x y z del elemento (como se ve en al figura). Si este elemento es usado en un análisis grande de flexión, debe ser observado que la localización del tercer nodo (K), o el ángulo θ , está utilizada para orientar solamente inicialmente al elemento.

Las constantes reales del elemento describen la viga en términos del área transversal, el momento de inercia del área, las distancias de las fibras extremas al centro de gravedad, los desplazamientos del centro de gravedad y las constantes de cortante. Los momentos de inercia (I_z y I_y) son sobre el eje principal lateral de la viga. El momento de inercia torsional en el extremo 1 (I_{x1}), si no está especificado , se asume igual al momento polar de inercia en el extremo 1($I_{z1}+I_{y1}$). Los valores del momento de inercia en el extremo 2(I_{x2} , I_{y2} y I_{z2}), si se deja en blanco, tomara por default los valores del extremo 1. La rigidez torsional del elemento disminuye con valores que disminuyen a I_x .

Los desplazamientos constantes (D_x,D_y,D_z) definen la localización del centroide de la sección concerniente a la localización del nodo. Las distancias de los desplazamientos son positivos medido del nodo en las direcciones positivas de las coordenadas del elemento. Todas las constantes reales (excepto el desplazamiento constante centroidal D_x,D_y y D_z) para el extremo dos de la viga, tomará por default los valores correspondientes del extremo 1, si el valor de éstos son cero. Los grosores superiores en el extremo 1, $TKZT1$ Y $TKYT1$, por default tomarán los espesores del fondo en el extremo 1, $TKZB1$ y $TKYB1$, respectivamente. También los espesores superiores del extremo 2, $TKZT2$ y $TKYT2$, por default tomará los espesores superiores del extremo 1, $TKZT1$ y $TKYT1$, respectivamente. Los espesores se miden desde el centroide de la sección.

"Las constantes de cortante por deformación"(**SHEARZ** y **SHEARY**) son usadas solamente si la deformación por cortante es incluida. Un valor cero de cortante se puede usar para eludir la deformación por cortante en una dirección en particular. Si no se definen constantes reales, se proporcionan los detalles seccionados transversalmente por separado usando los comandos de **SECTYPE** y **SECDATA**. Nota: una sección de la viga definida con **SECTYPE** y **SECDATA** se puede referir por cualquier combinación de los elementos **BEAM44**, **BEAM188**, y **BEAM189** en el mismo modelo.

KEYOPT(7) y **KEYOPT(8)** permite asignar la rigidez del elemento en los nodos del sistema de coordenadas del elemento. La "rigidez no debe ser asignada" en los que el movimientos del cuerpo-libre pueda ocurrir. También, las cargas aplicadas en la dirección de la rigidez asignada no serán tomadas en cuenta. Para la deflexión grande, observe que

la rigidez asignada al elemento sigue la orientación del elemento, mientras que no lo hace en la asignación por el acoplador nodal.

Las áreas de cortante (ARES __) y los factores de tensión torsional (TSF __) también se utilizan si son distintas a cero. Las áreas de cortante se utilizan para el cómputo de la tensión cortante solamente y son generalmente menor que la actual área de la seccionada transversal. El momento torsional es multiplicado por el factor de tensión torsional para calcular la tensión torsional cortante. Los factores de la tensión torsional se pueden encontrar en manuales estructurales. Para las secciones circulares, $TSF = \text{diameter} / (2 * IX)$.

Para algunas secciones transversales de la viga, el centro de cortante se puede desplazar de la localización del centroide. Los desplazamientos distintos a cero del centro de cortante (DSC __) se pueden ver en la figura 2.1. Las distancias de los desplazamientos son positivo medido del centro de figura en las direcciones de los ejes positivos del elemento. Los desplazamientos del extremo 2 toma por default los valores del extremo 1, si éstos son ceros. Si las constantes Y1 son proporcionadas a través de Z4, el listado adicional de la tensión se da en hasta cuatro puntos de salida especificados por el usuario en cada extremo de la viga como se ve en la salida de tensión.

Las rigideces elásticas de las cimentaciones (EFS_) son definidas como la presión requerida para producir las deflexiones normales unitarias en la cimentación. Se pasa por alto ésta capacidad si los valores de EFS_ son cero. La tensión inicial del elemento (ISTRN) es dada por δ/L , donde δ es la diferencia entre la longitud del elemento, L, (según lo definido por las localizaciones del nodo de I y de J) y "la longitud cero de la tensión". Una masa agregada por unidad de longitud se puede introducir con el valor de ADDMAS.

Las presiones se pueden introducir como cargas superficiales en las caras del elemento según se ve por los números encerrados en círculos, en la figura 2.1. El número encerrado en el círculo representa la clave de la carga para la cara indicada. Las presiones positivas actúan en el elemento. Las presiones laterales se introducen como fuerza por unidad de longitud. Las presiones en los extremos se introducen como fuerzas.

KEYOPT(10) permite que las presiones laterales "afiladas" sean "compensadas" de los nodos. Las temperaturas se pueden introducir como cargas del cuerpo del elemento en las ocho esquinas, como se ve en la figura 2.1. Las temperaturas 1-4 están en el nodo I y 5-8 está en el nodo J. Observe que los puntos de entrada de la temperatura son diferentes de los puntos de la salida de tensión como se ve en la figura 2.1. La primer temperatura de la esquina T1 toma por default TUNIF. Si el resto de las temperaturas están sin especificar, toman por default el de T1. Si solamente se introducen el T1 y el T2, el T3 toma por default el de T2 y T4 toma por default el de T1. Si solamente se introducen T1 y T4, el T2 toma por default el de T1 y el T3 toma por default el de T4. En ambos casos, de T5 a T8 toma por default el de T1 a T4, respectivamente. Para cualquier otro patrón de entrada, las temperaturas sin especificar toma por default a TUNIF.

KEYOPT(9), se usa si solicita salidas en localizaciones intermedias, es inválido si:

- La tensión rigidizada es dirigida en [SSTIF, ON], o
- Más de un componente de velocidad angular se aplica [OMEGA], o
- cualesquiera velocidades angulares o aceleración se aplican con los comandos de CGOMGA , de DOMEGA, o de DCGOMG.

Un resumen de la entrada del elemento se da en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Resumen de la entrada de BEAM44.

Nombre Del Elemento	BEAM44
Nodos	I, J, K (el nodo de la orientación de K es opcional)
Grados de libertad	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ
Constantes Reales	<p>Constantes 1-24 (sistema básico): AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1, AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2, DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2, SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2</p> <p>Constantes 25-30 (para el cortante y tensión torsional): ARESZ1, ARESY1, ARESZ2, ARESY2, TSF1, TSF2</p> <p>Constantes 31-36 (para el "desplazamiento" del cortante y la cimentación elástica): DSCZ1, DSCY1, DSCZ2, DSCY2, EFSZ, EFSY</p> <p>Constantes 37-52 (para la tensión adicional de salida): Y1, Z1, Y2, Z2, Y3, Z3, Y4, Z4 en el extremo I Y1, Z1, Y2, Z3, Y3, Z3, Y4, Z4 en el extremo J</p> <p>Constantes 53-55 (para otras opciones): THETA, ISTRN, ADDMAS</p>
Propiedades del Material	EX, ALPX, DENS, GXY, DAMP
Cargas Superficiales	<p>Presiones: Cara 1 (I-J) (dirección normal - Z), Cara 2 (I-J) (dirección normal - Y), Cara 3 (I-J) (dirección tangencial de +X), cara 4 (I) (dirección axial de +X), cara 5 (J) (dirección axial de -X) (use valor negativo para las cargas opuestas)</p>
Cargas del Cuerpo (Peso propio)	Temperaturas: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8
Características Especiales	La rigidez de la tensión, deflexión grande, nacimiento y muerte,
KEYOPT(2)	0 – Matriz total constante. 1 - Matriz total reducida.
KEYOPT(6)	0 - Ningún listado de la fuerza del miembro. 1 - Impresión de fuerzas y de momentos del miembro en el sistema de coordenadas del elemento.
KEYOPT(7)	Asignar rigideces en las direcciones de translación y rotación del

elemento. Para la asignación combinada, entra la suma de los números claves (tales como 11 para la rotación Z y Y).
 1 – Asignación de rigidez en Z del elemento rotacional.
 10 – Asignación de rigidez en Y del elemento rotacional.
 100 – Asignación de rigidez en X del elemento rotacional.
 1000 – Asignación de rigidez en Z del elemento de traslación. 10000 – Asignación de rigidez en Y del elemento de traslación.
 100000 – Asignación de rigidez en X del elemento de traslación.

KEYOPT(8) Iguales que KEYOPT(7) a excepción del extremo J

KEYOPT(9) Usa un control adicional en la salida entre los extremos I y J
 N - salida en N localizaciones intermedias (N = 0, 1, 3, 5, 7, 9)

KEYOPT(10) Utilizado solamente para las cargas superficiales afiladas con el comando de SFBEAM.
 0 – “La compensación” para la colocación de la carga está en términos de las unidades de la longitud
 1 – “La compensación” está en términos de un cociente de la longitud (0,0 a 1,0)

Notas:

SHEARZ va con IZ. Si SHEARZ = 0,0, no hay ninguna deflexión del cortante en la dirección Y del elemento.

SHEARY va con IY. Si SHEARY = 0,0, no hay ninguna deflexión del cortante en la dirección Z del elemento.

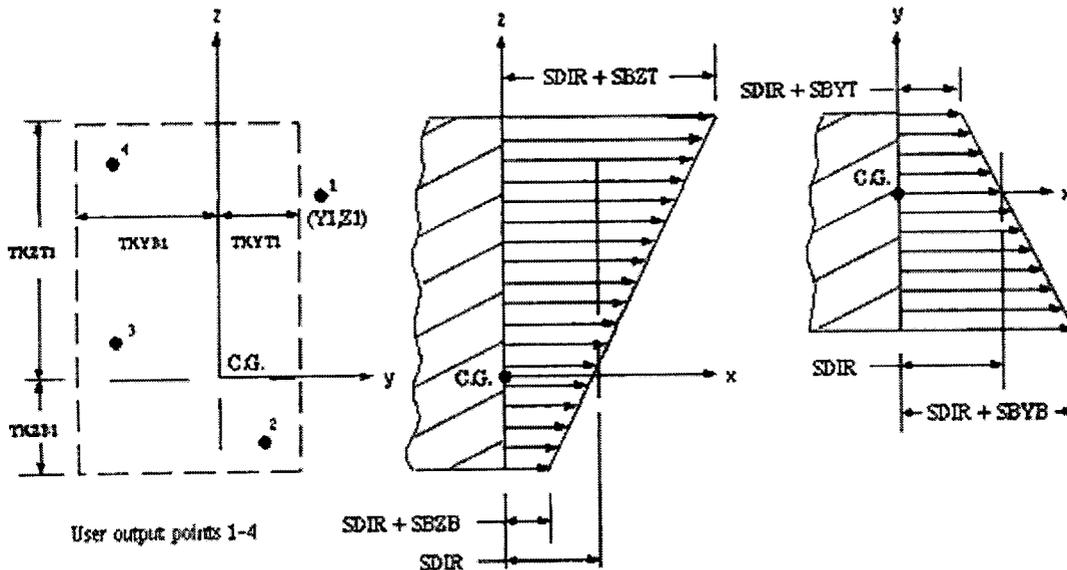
2) Datos de Salida.

La obtención de la solución asociada al elemento está en dos formas:

- Desplazamientos nodales incluidas en la solución nodal total.
- Elemento adicional de salida según lo se ve en: Definición de salida del elemento, Tabla 2.4.

Varios detalles se ilustran en la figura 2.2. En cada sección transversal, la salida computada consiste en la tensión(axial) directa y cuatro componentes de flexión. Entonces estos cinco valores se combinan para evaluar máximas y mínimas tensiones, asumiendo una sección rectangular. Si las constantes Y1 a Z4 se proporcionan, las tensiones combinadas en las localizaciones especificadas demostradas en el cuadro como se ve en la figura 2.2, también serán computadas. Si KEYOPT(6)=1 para este elemento, las 12 fuerzas del miembro y los momentos (6 en cada extremo) también se imprimirán(en la dirección del las coordenadas del elemento). El eje x del elemento se define a través del centro de gravedad de la sección transversal. Si se proporcionan las constantes reales 25 a 30 (ARES __, TSF __), se imprimen las tensiones de cortante medias y las tensiones torsionales. Si todos son cero, se suprime el listado del cortante. Los resultados adicionales en las localizaciones intermedias entre los extremos se pueden hacer salir con KEYOPT(9).

Figura 2.2 Tensión de salida BEAM44.



La tabla de las definiciones de salida del elemento utiliza la notación siguiente: Los dos puntos(:), en la columna **Nombre**, indican el artículo se puede acceder por el método de nombre componente (ETABLE, ESOL). La columna **O** indica la disponibilidad de los artículos en el archivo de nombre **Job.OUT**. La columna **R** indica la disponibilidad de los artículos en el archivo de resultados. En las columnas de **O** ó **R**, **Y** indica que el artículo siempre está disponible, un número refiere a una nota al pie de página de la tabla que describa cuando el artículo está condicionalmente disponible, y **a** indica que el artículo no está disponible.

Tabla 2.2 Definiciones de salida del elemento.

Nombre	Definición	O	R
EL	Numero del Elemento	Y	Y
NODES	Nodos - I, J	Y	Y
MAT	Número del Material	Y	Y
VOLU:	Volumen	-	Y
XC, YC, ZC	Localización donde los resultados son reportados	-	5
TEMP	Temperaturas T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8	Y	Y
PRES	Presiones P1 en los nodos I,J; OFFST1 at I,J; P2 at I,J; OFFST2 at I,J; P3 at I,J; OFFST3 at I,J; P4 at I; P5 at J	Y	Y
SDIR	Tensión axial directa	1	1
SBYT	Tensión por flexión en el elemento en el lado +Y de la viga.	1	1
SBYB	Tensión por flexión en el elemento en el lado -Y de la viga.	1	1

SBZT	Tensión por flexión en el elemento en el lado +Z de la viga.	1	1
SBZB	Tensión por flexión en el elemento en el lado -Z de la viga.	1	1
SMAX	Máxima tensión (Tensión directa + Tensión por flexión)	1	1
SMIN	Mínima tensión (Tensión directa - Tensión por flexión)	1	1
EPELDIR	"Deformación" elástica axial en el extremo.	1	1
EPELBYT	Deformación elástica por flexión en el elemento en el lado +Y de la viga.	1	1
EPELBYB	Deformación elástica por flexión en el elemento en el lado -Y de la viga.	1	1
EPELBZT	Deformación elástica por flexión en el elemento en el lado +Z de la viga.	1	1
EPELBZB	Deformación elástica por flexión en el elemento en el lado -Z de la viga.	1	1
EPTHDIR	Deformación termal axial en el extremo.	1	1
EPTHBYT	Deformación termal por flexión en el elemento en el lado +Y de la viga.	1	1
EPTHBYB	Deformación termal por flexión en el elemento en el lado -Y de la viga.	1	1
EPTHBZT	Deformación termal por flexión en el elemento en el lado +Z de la viga.	1	1
EPTHBZB	Deformación termal por flexión en el elemento en el lado -Z de la viga.	1	1
EPINAXL	Deformación inicial axial en el elemento.	1	1
S(XY, XZ, YZ)	Cortante promedio (dirección Y), Cortante promedio (dirección Z), Tensiones por torsión.	2	2
S(AXL1, AXL2, AXL3, AXL4)	Tensiones combinadas usadas en los puntos 1,2,3 y 4.	3	3
MFOR(X, Y, Z)	Fuerzas del miembro en el elemento en las direcciones X,Y,Z del sistema coordenado.	4	Y
MMOM(X, Y, Z)	Momentos del miembro en el elemento en las direcciones X,Y,Z del sistema coordenado.	4	Y

1. Repeticiones de puntos del extremo I, localizaciones intermedias (véase KEYOPT(9)), al extremo J.
2. Datos de salida solamente si las constantes reales; 25-30 son proporcionadas.
3. Datos de salida solamente si las constantes reales; 37-52 son proporcionadas.
4. Si KEYOPT(6)=1
5. Disponible solamente en el centroíde como en los puntos *.GET.

Los números de puntos y secuencias para ETABLE y ESOL (KEYOPT(9)=0) la salida de listas está disponible con el comando ETABLE usando el método de número de

secuencia. La siguiente notación es usada en números de puntos y secuencias para ETABLE y ESOL KEYOPT(9)=0:

Name	Cantidad conocida de salida, "Definiciones de salida del elemento".
Item	Etiqueta de puntos predeterminados para el comando ETABLE.
E	Número de secuencia para valor singular ó dato constante del elemento.
I,J	Número de secuencia para datos en nodos I,J.
lln	Número de secuencia para datos en localizaciones intermedias n.
SPn	Puntos de solución para puntos n de tensión.

Tabla 2.3 BEAM44 (KEYOPT(9)=0) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.

KEYOPT(9) = 0					
Name	Item	E	I	J	
SDIR	LS	-	1	6	
SBYT	LS	-	2	7	
SBYB	LS	-	3	8	
SBZT	LS	-	4	9	
SBZB	LS	-	5	10	
EPELDIR	LEPEL	-	1	6	
EPELBYT	LEPEL	-	2	7	
EPELBYB	LEPEL	-	3	8	
EPELBZT	LEPEL	-	4	9	
EPELBZB	LEPEL	-	5	10	
EPTHDIR	LEPTH	-	1	6	
EPTHBYT	LEPTH	-	2	7	
EPTHBYB	LEPTH	-	3	8	
EPTHBZT	LEPTH	-	4	9	
EPTHBZB	LEPTH	-	5	10	
EPINAXL	LEPTH	11	-	-	
SMAX	NMISC	-	1	3	
SMIN	NMISC	-	2	4	
MFORX	SMISC	-	1	7	
MFORY	SMISC	-	2	8	
MFORZ	SMISC	-	3	9	
MMOMX	SMISC	-	4	10	
MMOMY	SMISC	-	5	11	
MMOMZ	SMISC	-	6	12	

Tabla 2.5 BEAM44 (KEYOPT(9)=3) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.

KEYOPT(9) = 3							
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	J
SDIR	LS	-	1	6	11	16	21
SBYT	LS	-	2	7	12	17	22
SBYB	LS	-	3	8	13	18	23
SBZT	LS	-	4	9	14	19	24
SBZB	LS	-	5	10	15	20	25
EPELDIR	LEPEL	-	1	6	11	16	21
EPELBYT	LEPEL	-	2	7	12	17	22
EPELBYB	LEPEL	-	3	8	13	18	23
EPELBZT	LEPEL	-	4	9	14	19	24
EPELBZB	LEPEL	-	5	10	15	20	25
EPTHDIR	LEPTH	-	1	6	11	16	21
EPTHBYT	LEPTH	-	2	7	12	17	22
EPTHBYB	LEPTH	-	3	8	13	18	23
EPTHBZT	LEPTH	-	4	9	14	19	24
EPTHBZB	LEPTH	-	5	10	15	20	25
EPINAXL	LEPTH	26	-	-	-	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3	5	7	9
SMIN	NMISC	-	2	4	6	8	10
MFORX	SMISC	-	1	7	13	19	25
MFORY	SMISC	-	2	8	14	20	26
MFORZ	SMISC	-	3	9	15	21	27
MMOMX	SMISC	-	4	10	16	22	28
MMOMY	SMISC	-	5	11	17	23	29
MMOMZ	SMISC	-	6	12	18	24	30
SXY	SMISC	-	31	34	37	40	43
SXZ	SMISC	-	32	35	38	41	44
SYZ	SMISC	-	33	36	39	42	45
P1	SMISC	-	66	-	-	-	67
OFFST1	SMISC	-	68	-	-	-	69
P2	SMISC	-	70	-	-	-	71
OFFST2	SMISC	-	72	-	-	-	73
P3	SMISC	-	74	-	-	-	75

KEYOPT(9) = 3							
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	J
OFFST3	SMISC	-	76	-	-	-	77
P4	SMISC	-	78	-	-	-	-
P5	SMISC	-	-	-	-	-	79
SAXL (SP1)	SMISC	-	46	50	54	58	62
SAXL (SP2)	SMISC	-	47	51	55	59	63
SAXL (SP3)	SMISC	-	48	52	56	60	64
SAXL (SP4)	SMISC	-	49	53	57	61	65

Esquina localizada									
		1	2	3	4	5	6	7	8
TEMP	LBFE	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 2.6 BEAM44 (KEYOPT(9)=5) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.

KEYOPT(9) = 5									
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	J
SDIR	LS	-	1	6	11	16	21	26	31
SBYT	LS	-	2	7	12	17	22	27	32
SBYB	LS	-	3	8	13	18	23	28	33
SBZT	LS	-	4	9	14	19	24	29	34
SBZB	LS	-	5	10	15	20	25	30	35
EPELDIR	LEPEL	-	1	6	11	16	21	26	31
EPELBYT	LEPEL	-	2	7	12	17	22	27	32
EPELBYB	LEPEL	-	3	8	13	18	23	28	33
EPELBZT	LEPEL	-	4	9	14	19	24	29	34
EPELBZB	LEPEL	-	5	10	15	20	25	30	35
EPTHDIR	LEPTH	-	1	6	11	16	21	26	31
EPTHBYT	LEPTH	-	2	7	12	17	22	27	32
EPTHBYB	LEPTH	-	3	8	13	18	23	28	33
EPTHBZT	LEPTH	-	4	9	14	19	24	29	34
EPTHBZB	LEPTH	-	5	10	15	20	25	30	35

KEYOPT(9) = 5

Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	J
EPINAXL	LEPTH	36	-	-	-	-	-	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3	5	7	9	11	13
SMIN	NMISC	-	2	4	6	8	10	12	14
MFORX	SMISC	-	1	7	13	19	25	31	37
MFORY	SMISC	-	2	8	14	20	26	32	38
MFORZ	SMISC	-	3	9	15	21	27	33	39
MMOMX	SMISC	-	4	10	16	22	28	34	40
MMOMY	SMISC	-	5	11	17	23	29	35	41
MMOMZ	SMISC	-	6	12	18	24	30	36	42
SXY	SMISC	-	43	46	49	52	55	58	61
SXZ	SMISC	-	44	47	50	53	56	59	62
SYZ	SMISC	-	45	48	51	54	57	60	63
P1	SMISC	-	92	-	-	-	-	-	93
OFFST1	SMISC	-	94	-	-	-	-	-	95
P2	SMISC	-	96	-	-	-	-	-	97
OFFST2	SMISC	-	98	-	-	-	-	-	99
P3	SMISC	-	100	-	-	-	-	-	101
OFFST3	SMISC	-	102	-	-	-	-	-	103
P4	SMISC	-	104	-	-	-	-	-	-
P5	SMISC	-	-	-	-	-	-	-	105
SAXL (SP1)	SMISC	-	64	68	72	76	80	84	88
SAXL (SP2)	SMISC	-	65	69	73	77	81	85	89
SAXL (SP3)	SMISC	-	66	70	74	78	82	86	90
SAXL (SP4)	SMISC	-	67	71	75	79	83	87	91

Esquina localizada

		1	2	3	4	5	6	7	8
TEMP	LBFE	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 2.7 BEAM44 (KEYOPT(9)=7) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.

KEYOPT(9) = 7											
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	IL6	IL7	J
SDIR	LS	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41
SBYT	LS	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42
SBYB	LS	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43
SBZT	LS	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44
SBZB	LS	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45
EPELDIR	LEPEL	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41
EPELBYT	LEPEL	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42
EPELBYB	LEPEL	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43
EPELBZT	LEPEL	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44
EPELBZB	LEPEL	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45
EPTHDIR	LEPTH	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41
EPTHBYT	LEPTH	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42
EPTHBYB	LEPTH	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43
EPTHBZT	LEPTH	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44
EPTHBZB	LEPTH	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45
EPINAXL	LEPTH	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3	5	7	9	11	13	15	17
SMIN	NMISC	-	2	4	6	8	10	12	14	16	18
MFORX	SMISC	-	1	7	13	19	25	31	37	43	49
MFORY	SMISC	-	2	8	14	20	26	32	38	44	50
MFORZ	SMISC	-	3	9	15	21	27	33	39	45	51
MMOMX	SMISC	-	4	10	16	22	28	34	40	46	52
MMOMY	SMISC	-	5	11	17	23	29	35	41	47	53
MMOMZ	SMISC	-	6	12	18	24	30	36	42	48	54
SXY	SMISC	-	55	58	61	64	67	70	73	76	79
SXZ	SMISC	-	56	59	62	65	68	71	74	77	80
SYZ	SMISC	-	57	60	63	66	69	72	75	78	81
P1	SMISC	-	118	-	-	-	-	-	-	-	119
OFFST1	SMISC	-	120	-	-	-	-	-	-	-	121
P2	SMISC	-	122	-	-	-	-	-	-	-	123
OFFST2	SMISC	-	124	-	-	-	-	-	-	-	125
P3	SMISC	-	126	-	-	-	-	-	-	-	127

KEYOPT(9) = 7											
OFFST3	SMISC	-	128	-	-	-	-	-	-	129	
P4	SMISC	-	130	-	-	-	-	-	-	-	
P5	SMISC	-	-	-	-	-	-	-	-	131	
SAXL (SP1)	SMISC	-	82	86	90	94	98	102	106	110	114
SAXL (SP2)	SMISC	-	83	87	91	95	99	103	107	111	115
SAXL (SP3)	SMISC	-	84	88	92	96	100	104	108	112	116
SAXL (SP4)	SMISC	-	85	89	93	97	101	105	109	113	117

		Esquina localizada							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TEMP	LBFE	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 2.8 BEAM44 (KEYOPT(9)=9) Números de puntos y secuencias para los comandos ETABLE y ESOL.

KEYOPT(9) = 9													
Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	IL6	IL7	IL8	IL9	J
SDIR	LS	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51
SBYT	LS	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
SBYB	LS	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53
SBZT	LS	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
SBZB	LS	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
EPELDIR	LEPEL	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51
EPELBYT	LEPEL	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
EPELBYB	LEPEL	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53
EPELBZT	LEPEL	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
EPELBZB	LEPEL	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
EPTHDIR	LEPTH	-	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51
EPTHBYT	LEPTH	-	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52
EPTHBYB	LEPTH	-	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53
EPTHBZT	LEPTH	-	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
EPTHBZB	LEPTH	-	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
EPINAXL	LEPTH	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SMAX	NMISC	-	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21

KEYOPT(9) = 9

Name	Item	E	I	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	IL6	IL7	IL8	IL9	J
SMIN	NMISC	-	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
MFORX	SMISC	-	1	7	13	19	25	31	37	43	49	55	61
MFORY	SMISC	-	2	8	14	20	26	32	38	44	50	56	62
MFORZ	SMISC	-	3	9	15	21	27	33	39	45	51	57	63
MMOMX	SMISC	-	4	10	16	22	28	34	40	46	52	58	64
MMOMY	SMISC	-	5	11	17	23	29	35	41	47	53	59	65
MMOMZ	SMISC	-	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
SXY	SMISC	-	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97
SXZ	SMISC	-	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
SYZ	SMISC	-	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99
P1	SMISC	-	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145
OFFST1	SMISC	-	146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147
P2	SMISC	-	148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	149
OFFST2	SMISC	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	151
P3	SMISC	-	152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153
OFFST3	SMISC	-	154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155
P4	SMISC	-	156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P5	SMISC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
SAXL (SP1)	SMISC	-	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140
SAXL (SP2)	SMISC	-	101	105	109	113	117	121	125	129	133	137	141
SAXL (SP3)	SMISC	-	102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142
SAXL (SP4)	SMISC	-	103	107	111	115	119	123	127	131	135	139	143

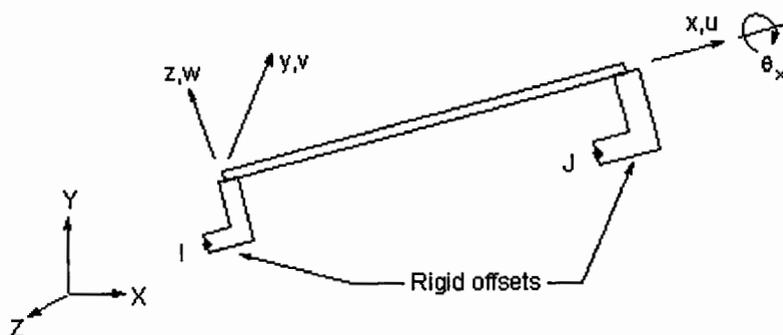
		Esquina localizada							
		1	2	3	4	5	6	7	8
TEMP	LBFE	1	2	3	4	5	6	7	8

3) Atributos y Restricciones.

La viga no debe tener un área o longitud igual a cero. La viga puede tener cualquier forma de sección transversal para la cual los momentos de inercia puedan ser computados. Los gruesos del elemento se utilizan para localizar las fibras extremas para los cálculos de la tensión y para computar el gradiente termal. Los ahusamientos dentro de un elemento, si lo hay, deben ser graduales. Si $AREA2/AREA1$ o I_2/I_1 no está entre 0.5 y 2.0, saldrá un mensaje de alerta. Si el cociente está fuera del rango de 0.1 a 10.0 saldrá un mensaje de error. El elemento no debe afilar a un punto (grueso cero). Los gradientes termales aplicados se asumen para ser lineales a través del grueso en ambas direcciones y a lo largo de la longitud del elemento. La longitud flexible de la viga se ajusta para explicar el efecto de las "compensaciones". Las longitudes compensadas se pueden mirar como porciones rígidas de la viga. Las compensaciones laterales desiguales, que rotan la viga, también causan un acortamiento correspondiente de la longitud flexible. La diferencia entre las compensaciones laterales no debe de exceder la longitud del elemento. Las fuerzas rotatorias del cuerpo que resultan de una velocidad angular se basan sobre las localizaciones del nodo (como si las compensaciones fueran cero). Las tensiones por cortante se calculan independientemente de la deflexión por cortante.

BEAM44 se puede utilizar con cualquier sección transversal que fuera definida usando SECTYPE, SECDATA, SECOFFSET, SECWRITE, y SECREAD. Sin embargo, una sección definida con estos comandos será utilizada solamente si no hay sistema verdadero de la constante definida. Para los materiales no lineales, utilice BEAM188 o BEAM189 en vez de BEAM44.

Figura 2.3 BEAM44 - Viga Asimétrica Afilada Elástico Tridimensional

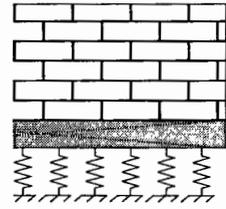


Tipo De la Carga	Distribución
Temperatura del Elemento	Bi-lineal a través de la sección transversal, lineal a lo largo de longitud.
Temperatura Nodal	Constante a través de la sección transversal, lineal a lo largo de longitud.
Presión	Lineal a lo largo de longitud.

Atributos y restricciones.

1. Es normal antes de la deformación sigue siendo recto y normal después de la deformación.
2. Compensa, si cualquiera, se asumen para ser totalmente rígido.
3. Si se utilizan ambas compensaciones y también velocidades angulares o aceleraciones angulares (entrada en los comandos de OMEGA, de DOMEGA, de CGOMGA , o de DCGOMG), el radio usado en los cálculos de inercia de la fuerza no explica las compensaciones.
4. Los efectos de la rigidez de la cimentación se aplican en la longitud flexible (es decir, antes de que se utilicen las compensaciones).
5. Los efectos de la deflexión por cortante no se incluyen en la matriz total, pues están para BEAM4 .
6. La flexión termal asume un grueso uniforme (medio).

3



METODOLOGÍA PROPUESTA DE ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN RETÍCULAR A BASE DE TRABES PERALTADAS, SOBRE ARCILLAS EXPASIVAS MEDIANTE EVENTOS ALEATORIOS.

3.1 PRINCIPIOS DEL ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN.

El análisis se basa en tres principios:

- 1) El modelo propuesto por Winkler, "viga flotante" sobre modelación suelo-estructura.
- 2) La existencia del Programa de Modelación de Sistemas Físicos, ANSYS, que permite hacer uso de uno de sus Elementos Finitos (BEAM44), para la modelación de interacción suelo-estructura de nuestra cimentación.
- 3) El comportamiento de la naturaleza, la gran mayoría de veces impredecibles, al ocasionar hidratación en distintas épocas del año y en diferentes zonas del suelo arcilloso soportante de la estructura o bien la aparición de fugas de las instalaciones hidráulicas. Fenómenos que en ocasiones hacen que se desarrolle la gran parte de la presión de expansión en ciertos puntos de la cimentación y por consiguiente la generación de Distorsiones Angulares en la misma.

3.2 DESCRIPCIÓN

Se ejemplificará el método de análisis de cimentación a base de trabes peraltadas en una construcción de "casa habitación de un nivel", estructura ligera con descargas promedio de 0.7 y 2.5 Ton/ml, cargas que generan un esfuerzo promedio en el suelo de alrededor de 4.67 y 16.67 Ton/m² (considerando un ancho de la trabe $b=15\text{cm}$), esfuerzo promedio correspondiente a la resistencia de una arcilla blanda y media, respectivamente. Todo ello con el propósito de que el problema sea evidente, debido a movimientos que genera la presión de expansión sobre la base de la cimentación de trabes. En este ejemplo se analizará hasta dar resultados que causen distorsiones angulares tolerables y por consiguiente, la garantía de que no se presenten grietas en los muros, como sucede en muchas construcciones ligeras de interés social.

Entonces la finalidad del análisis es obtener los siguientes resultados:

- 1.-Asentamientos Diferenciales.
- 2.-Distorsiones Angulares.
- 3.-Desplazamientos en dirección "Z".
- 4.-Cálculo de Presiones de contacto entre suelo y retícula de cimentación.
- 3.-Cálculo de Esfuerzos: Momentos y Cortantes de servicio.

Los cuales nos permitirán decidir de manera confiable el diseño de nuestra cimentación a base de trabes.

Para la obtención de los anteriores resultados, por Reglamento de Construcción del Distrito Federal(RCDF), debemos emplear diferentes combinaciones de carga muerta y carga viva, según lo que se desee calcular. Por lo que procedemos a clasificar las combinaciones de carga junto con los resultados que se pretenden obtener al analizarse con cada una de ellas.

COMBINACIÓN DE CARGAS DE SERVICIO	
Carga Muerta(CM)+ Carga Viva Promedio(CVp)	Carga muerta(CM)+ Carga Viva Máxima(CVm)
Cálculo de Asentamientos Diferenciales	Cálculo de Presiones de contacto entre suelo y retícula de cimentación.
Cálculo de Distorsiones Angulares	
Cálculo de Desplazamientos en dirección "Z"	Cálculo de esfuerzos: Momentos y Cortantes.

3.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.

Se hará el análisis de la retícula de cimentación, bajo las dos antes mencionadas combinaciones de carga. En donde cada combinación de carga se analizará sujeta a dos diferentes estados de carga:

- 1.Cargas de servicio(Cs);
- 2.Cargas de servicio + Presión Negativa(Cs+Pneg),

*NOTA:Las cargas de servicio pueden ser: Cs= CMuerta+CViva promedio ó máxima, según sea la finalidad del análisis.

En éste último estado de cargas se aplicará la máxima presión de expansión en la base de las trabes (elementos finitos), esto será sólo en la cantidad de elementos aleatorios(NEA=5), (elegidos con ayuda del algoritmo RANDOM), con el propósito de causar distorsiones angulares. Tal situación se generará N veces(NESC=10) con diferentes elementos aleatorios(EA), lo cual creará un panorama-escenario diferente por analizar. Situación que trata de cubrir el tercer principio de Análisis de la cimentación.

La aplicación de este método de análisis a base de elementos finitos, debe de seguir las siguientes etapas:

- 1) Conocimiento del Proyecto Arquitectónico.

- 2) Realización de Bajada de Cargas en sus distintas combinaciones.(en este caso sólo se hizo para cargas muertas, por la facilidad ejemplificativa de análisis y el fin que perseguimos).
- 3) Discretización de la Geometría de la Cimentación, a base de coordenadas.
- 4) Trazo del Diagrama de Flujo, del Programa.
- 5) Captura del Modelo en el Programa ANSYS (Captura de Geometría de la cimentación, referenciadas por coordenadas).
- 6) Asignación de Variables:
 - Peralte H de la Trabe propuesta.
 - Base B de la Trabe.
 - Resistencia FC del concreto.
 - Presión de expansión PNEG, del suelo.
 - Módulo de Reacción k(RIGS) del Suelo, etc.
- 7) Asignación del Elemento Finito BEAM44, junto con:
 - 1) Propiedades de Material(MP).
 - 2) Constantes Reales(R).
- 8) Mallado de la retícula, Dimensionamiento de Vectores.
- 9) Restricción de Desplazamiento en nodos de las esquina de la Retícula y aplicación de cargas Puntuales y Distribuidas.
- 10) Establecimiento del MACRO ó algoritmo del programa de modelación.(Macro No.1: Para cálculo de asentamientos diferenciales, distorsiones angulares y desplazamientos; y Macro No.2: Para cálculo de presión en el suelo y esfuerzos(momentos, cortantes).
- 11) Corrida del programa; obtención de resultados, según la combinación de carga:

Tabla 3.1 Combinaciones de Carga de Servicio.

COMBINACIÓN DE CARGAS DE SERVICIO	
MACRO No.1	MACRO No.2
Carga Muerta(CM)+ Carga Viva Promedio(CVp)	Carga muerta(CM)+ Carga Viva Máxima(CVm)
Cálculo de Asentamientos Diferenciales	Cálculo de Presiones de contacto entre suelo y retícula de cimentación.
Cálculo de Distorsiones Angulares	
Cálculo de Desplazamientos en dirección "Z"	Cálculo de esfuerzos: Momentos y Cortantes.

2DA. ETAPA

2. BAJADA DE CARGAS

CONSIDERACIONES PARA CARGAS MUERTAS.

Losa azotea(maciza).

Con pendiente cero, es decir losa horizontal con entortado:

MATERIAL	ESPESOR (m).	P.V. (Kg/m ³)	W (Kg/m ²)
Enladrillado	0.02	1500	30
Mortero (cal-arena)	0.015	1500	23
Impermeabilizante	-	-	4
Mortero (cal-arena)	0.04	1500	60
Relleno de tezontle	0.12	1250	150
Losa de concreto armado	0.10	2400	240
Plafond de yeso	0.015	1500	23
Carga muerta adicional. *	Por concreto		20
	Por mortero		20
CARGA MUERTA TOTAL $W_{CM} =$			570

Losa azotea(maciza).

Con pendiente >2%, es decir losa inclinada sin entortado:

MATERIAL	ESPESOR (m).	P.V. (Kg/m ³)	W (Kg/m ²)
Teja	-	-	33
Mortero (cemento-arena)	0.013	2100	27
Enladrillado	0.02	1500	30
Mortero (cemento-arena)	0.011	2100	23
Impermeabilizante	-	-	4
Losa de concreto armado	0.10	2400	240
Plafond de yeso	0.015	1500	23
Carga muerta adicional. *	Por concreto		20
	Por mortero		20
CARGA MUERTA TOTAL $W_{CM} =$			420

*Art. 224 Cap. XXXV R.C.D.D.F. (14 de diciembre 1976).

Pretil: $H_1=0.45$ m. $H_2=1.53$ m.

Sistema; pretil:

Con caja de remate de ladrillo rojo($h=5$ cm, terminado), con terminado aparente. $w=7$ Kg/ml.

DESCRIPCIÓN	W (Kg/m ²)	(altura del muro) (m)	w (Kg/ml), del muro.	W _{CM total} (kg/ml)
Muro de tabique macizo hecho a mano con recubrimientos mortero-mortero.	270	0.40	108	115
		1.48	400	407

Muros:

DESCRIPCIÓN	M U R O				W (Kg/m ²)	(altura del muro) (m)	W _{CM total} (kg/ml)
	material	mortero	tabique	Mortero			
Muro de tabique macizo hecho a mano con recubrimientos mortero-mortero.	Esesor.m.	0.02	0.14	0.02	270	2.90 Prom.	783
	P.V.(kg/m ³)	1500	1500	1500			
	w(kg/m ²)	30	210	30		3.05	824

Trabes de proyecto:

TRABE	SECCIÓN (m)	P.V. (kg/m ³)	W _{CM total} (kg/ml)
T1	0.40 x 0.15	2400	144
T2	0.30 x 0.15		108

Cadena de cerramiento:

CADENA	SECCIÓN (m)	P.V. (kg/m ³)	W _{CM total} (kg/ml)
C	0.25 x 0.15	2400	90

Losa de entrepiso (vigüeta y bovedilla):

MATERIAL	ESPESOR (m).	P.V. (Kg/m ³)	W (Kg/m ²)
Loseta(granito de terrazo)	-	-	55
Mortero (cemento-arena)	0.02	2100	42
Semivigüeta y concreto armado. (peso; según manual)	-	-	220
Carga muerta adicional. *	Por concreto		20
	Por mortero		20
CARGA MUERTA TOTAL $W_{CM} =$			357

*Art. 224 Cap. XXXV R.C.D.D.F. (14 de diciembre 1976).

Trabes de proyecto en cimentación:

TRABE	SECCIÓN (m)	P.V. (kg/m ³)	W_{CM} total (kg/ml)
T	0.20 x 0.40	2400	192

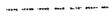
CONSIDERACIONES PARA CARGAS VIVAS.

1) El Reglamento de Construcción del Distrito Federal(RCDF), en la disposición III del artículo 199, capítulo V "Cargas Vivas", dentro del Título Sexto "Seguridad Estructural de las Construcciones", considera lo siguiente:

Deberá emplearse el uso de la carga media W , para el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas.

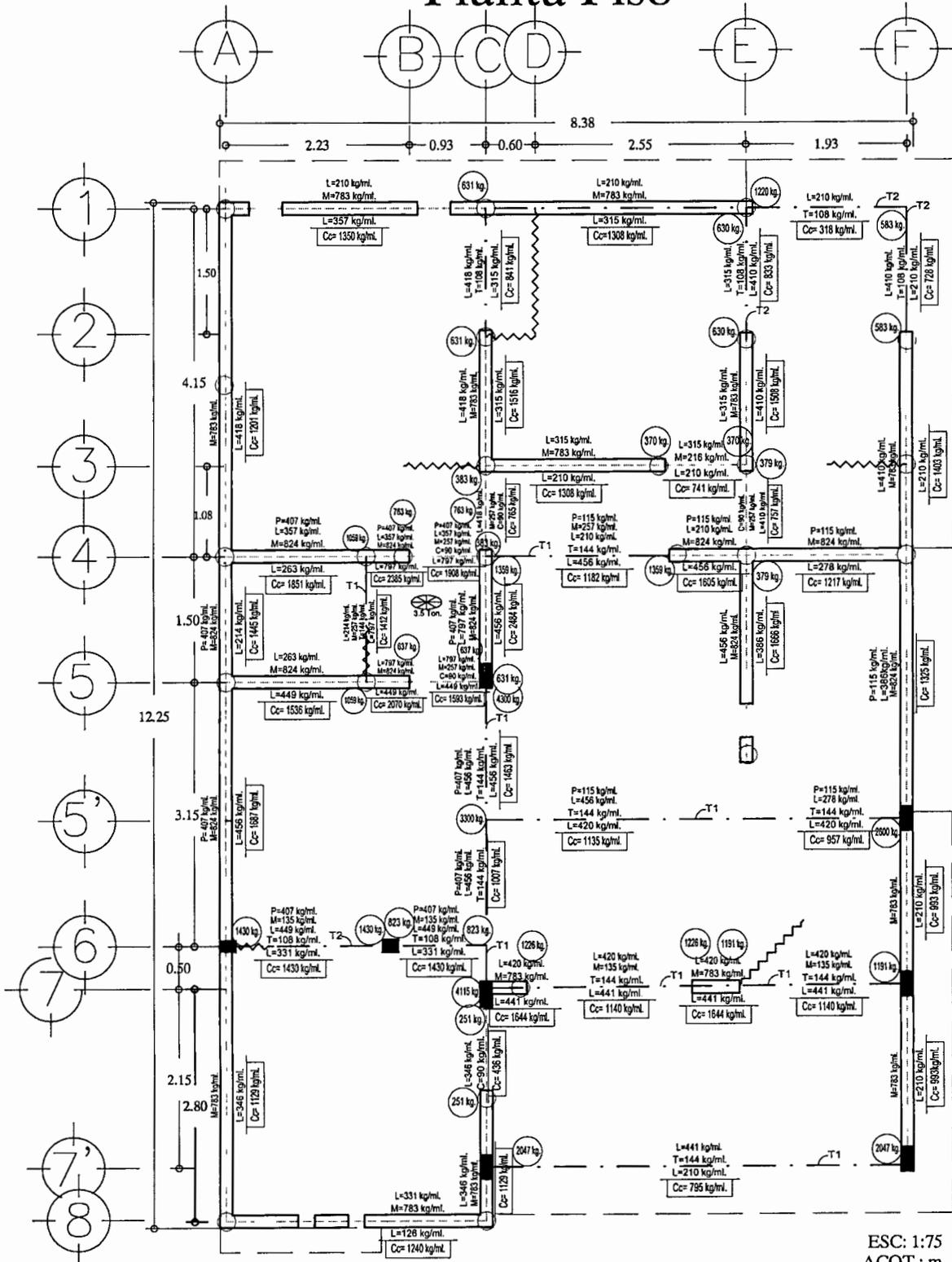
En nuestro caso, la casa habitación, es una estructura ligera cimentada sobre un suelo expansivo, el cual desarrolla grandes valores de presión de expansión. Como ésta presión se desarrolla de manera aleatoria en diferentes puntos de la cimentación, que ocasionará asentamientos diferenciales y por tanto distorsiones angulares, a largo plazo.

Simbología

	TRABES DE PROYECTO.
	CADENA DE PROYECTO.
	MURO DIVISORIO.
	MURO DE CARGA
	CASTILLO TIPO K1.
	CASTILLO K2
	PERIMETRO DE LOSA.
	SENTIDO DE COLOCACIÓN DE SEMIVIGUETA Y BOVEDILLA.
	TANQUE DE AGUA.
	BAJADA DE CARGA PUNTUAL.
P=407 kg/ml.	PESO DE PRETIL POR METRO LINEAL.
M=135 kg/ml.	PESO DE MURO POR METRO LINEAL.
L=449 kg/ml.	PESO DE LOSA POR METRO LINEAL.
T=108 kg/ml.	PESO DE TRABE POR METRO LINEAL.
L=331 kg/ml.	PESO DE LOSA POR METRO LINEAL.
<u>Cc= 1430 kg/ml.</u>	CONTINUACIÓN DE CARGA.
CT= 2000 kg/ml.	CARGA TOTAL.

Bajada de Cargas

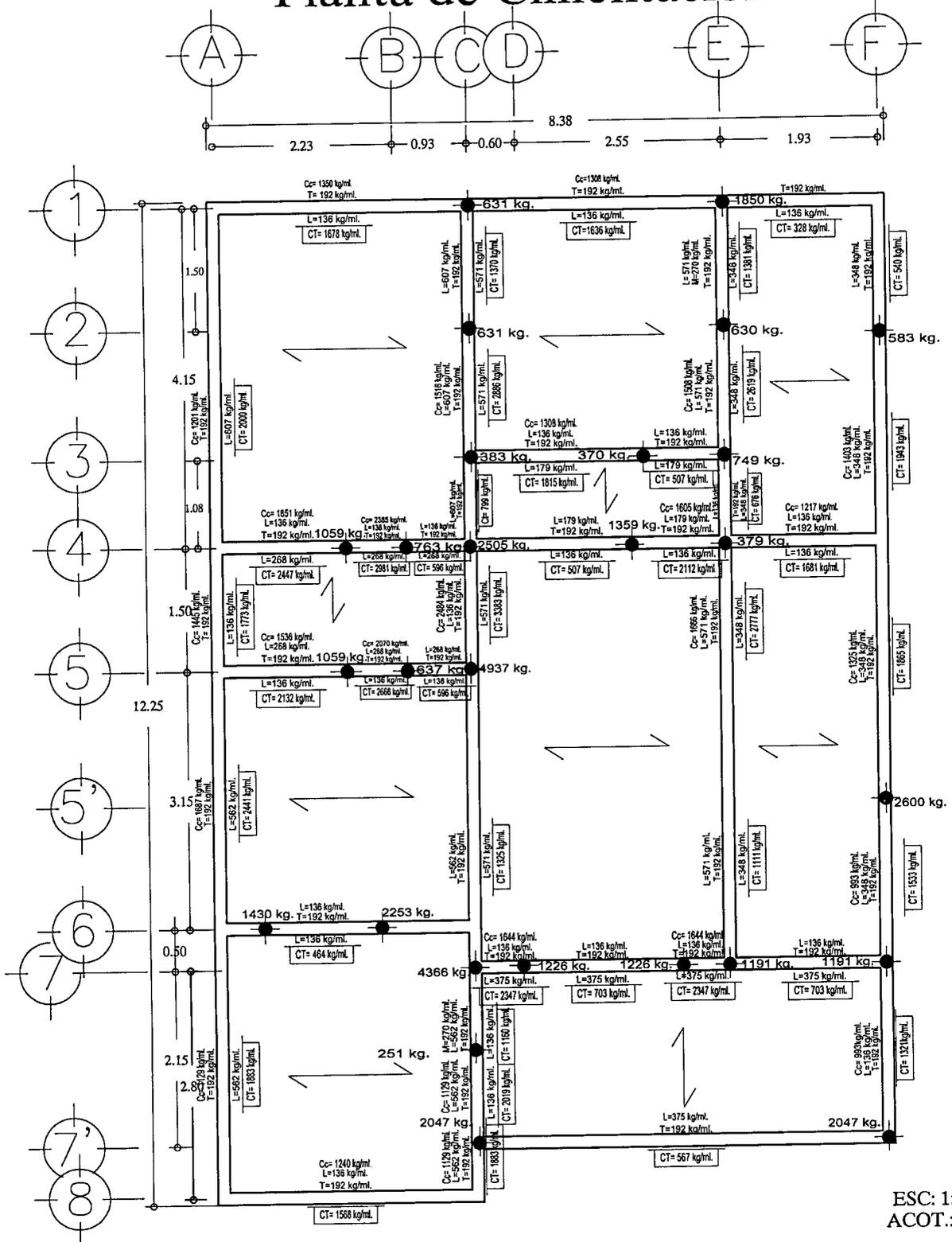
Planta Piso



ESC: 1:75
ACOT.: m.

Bajada de Cargas

Planta de Cimentación

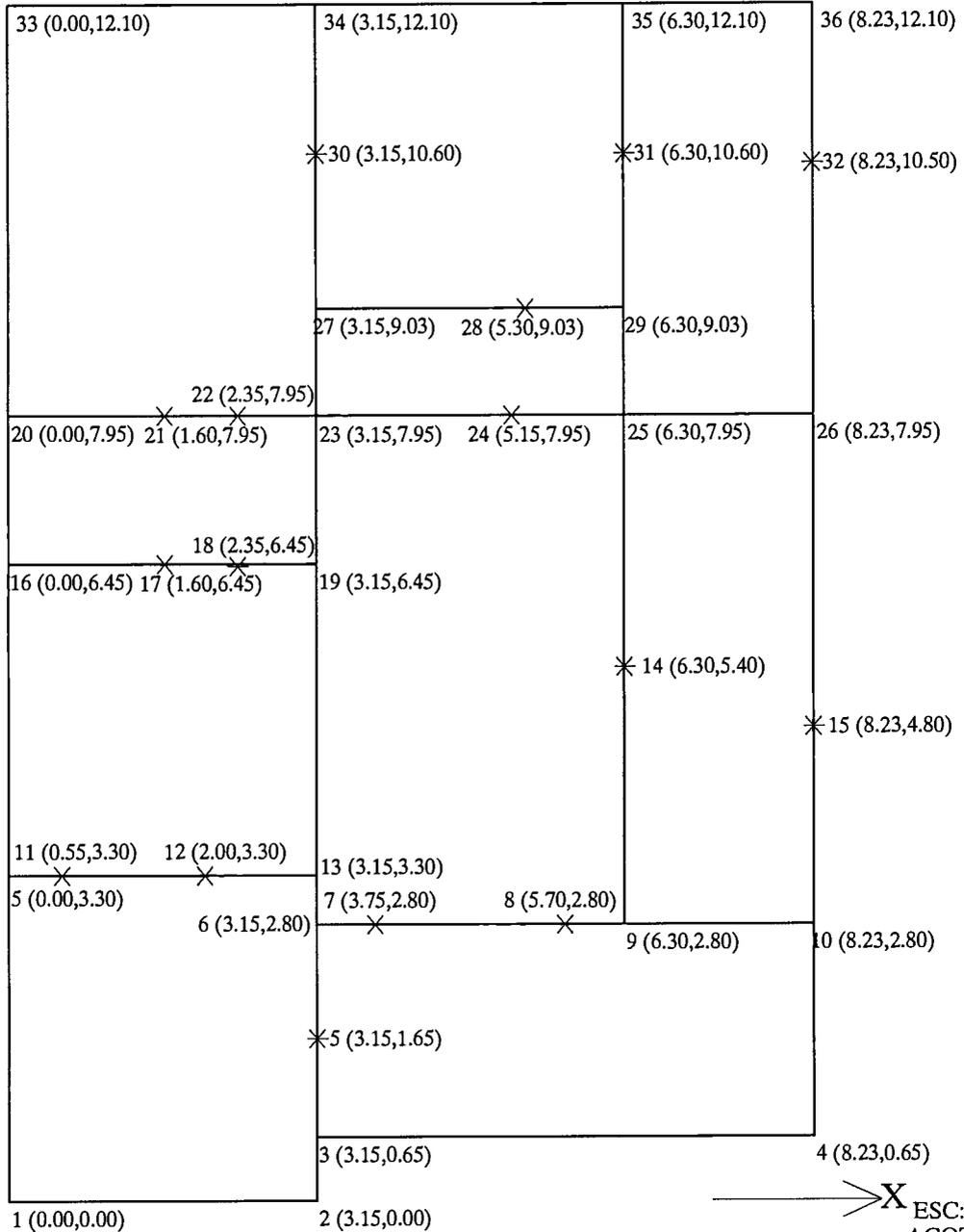


ESC: 1:75
ACOT.: m.

3RA. ETAPA

3. DISCRETIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA CIMENTACIÓN, A BASE DE COORDENADAS

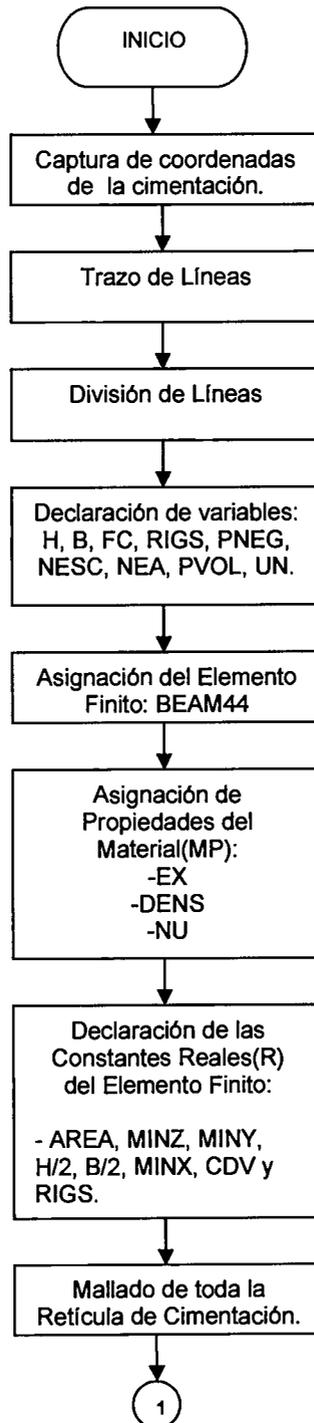
Coordenadas de la Cimentación



ESC: 1:75
ACOT.: m.

4TA. ETAPA

4. DIAGRAMA DE FLUJO



1

Dimensionamiento de vectores utilizados, para grabar la información:

ADABS: Asentamiento Diferencial Absoluto (m).

ASDMAX: Asentamiento Diferencial Máximo (m).

ELADM: Num. de Elemento donde ocurre el Asentamiento Diferencial Máximo.

DZMAX: Desplazamiento en dirección Z, máximo (m).

NZMAX: Nodo en que ocurre el Desplazamiento en dirección Z, Máximo.

MYIM: Momento en "Y", Máximo (Ton.m.).

VYIM: Cortante en "Y", Máximo (Ton.).

LONGE: Longitud del elemento finito donde ocurre el ASDMAX (m.)

DISANG : Distorsión Angular.

EA: Números de los elementos finitos elegidos aleatoriamente, en los distintos escenarios(NESC) .

EMYIM: Número del Elemento, donde ocurre el Máximo Momento en Y.

EYIM: Número del Elemento, donde ocurre el Máximo Cortante en Y.

PCON1: Presión de contacto máxima entre la retícula y suelo, Sólo bajo cargas de servicio (Ton/m²).

EPCON1: Número del Elemento Finito donde ocurre PCON1.

ECON: Presión de contacto entre la retícula y suelo, bajo cargas de servicio + la Presión de expansión(PNEG) (Ton/m²).

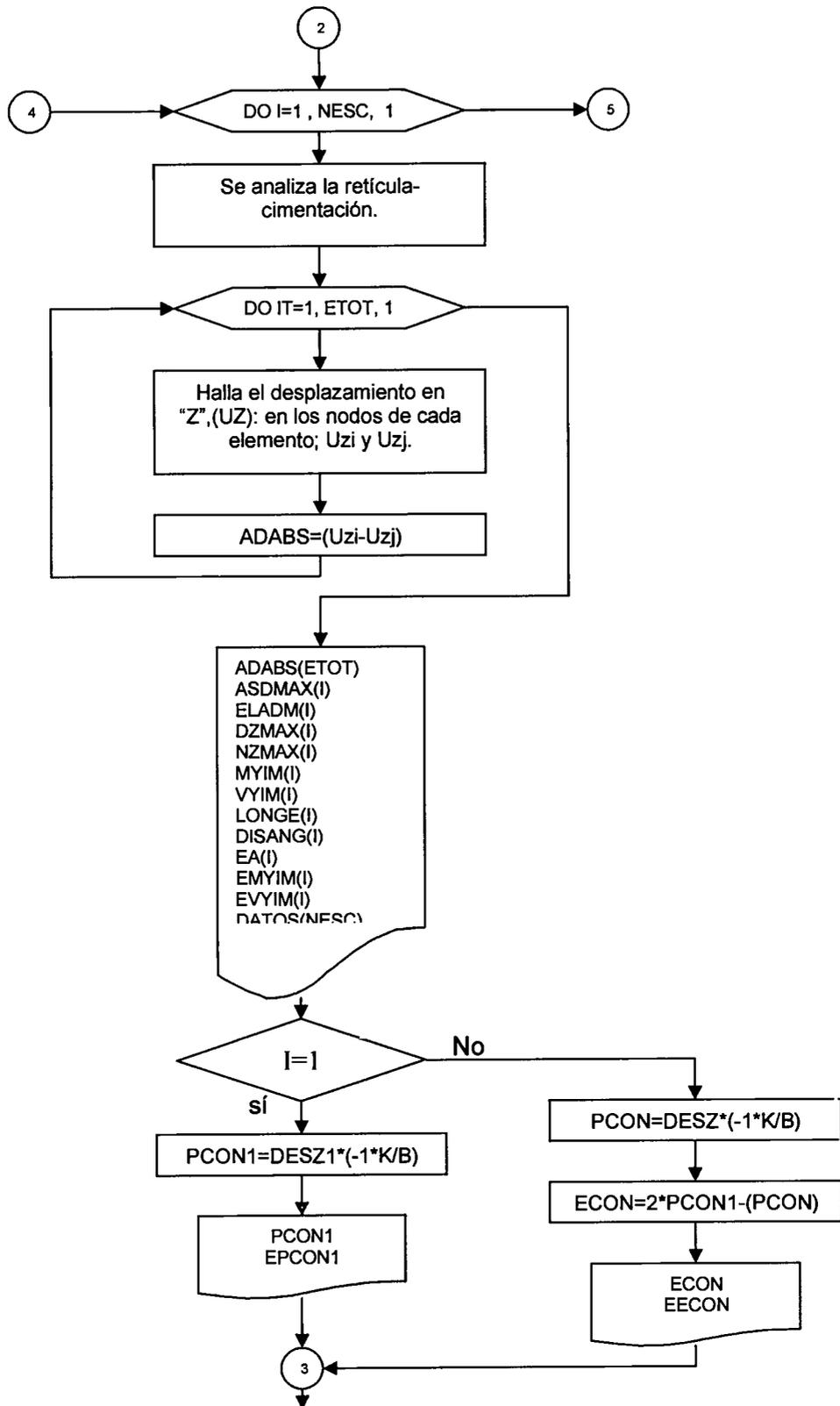
EECON: Número del Elemento Finito donde ocurre ECON.

DATOS: Tabla que contiene todos los anteriores vectores. Y que más adelante muestro el ordenamiento de la tabla.

Restricción de desplazamientos en nodos en las direcciones X y Y; (UX, UY), de la Reticula en sus esquinas. Ello es con la finalidad de no crear inestabilidad a la hora del Análisis.

Aplicación de Cargas:
-Puntuales (Ton).
-Distribuidas (Ton/ml)

2



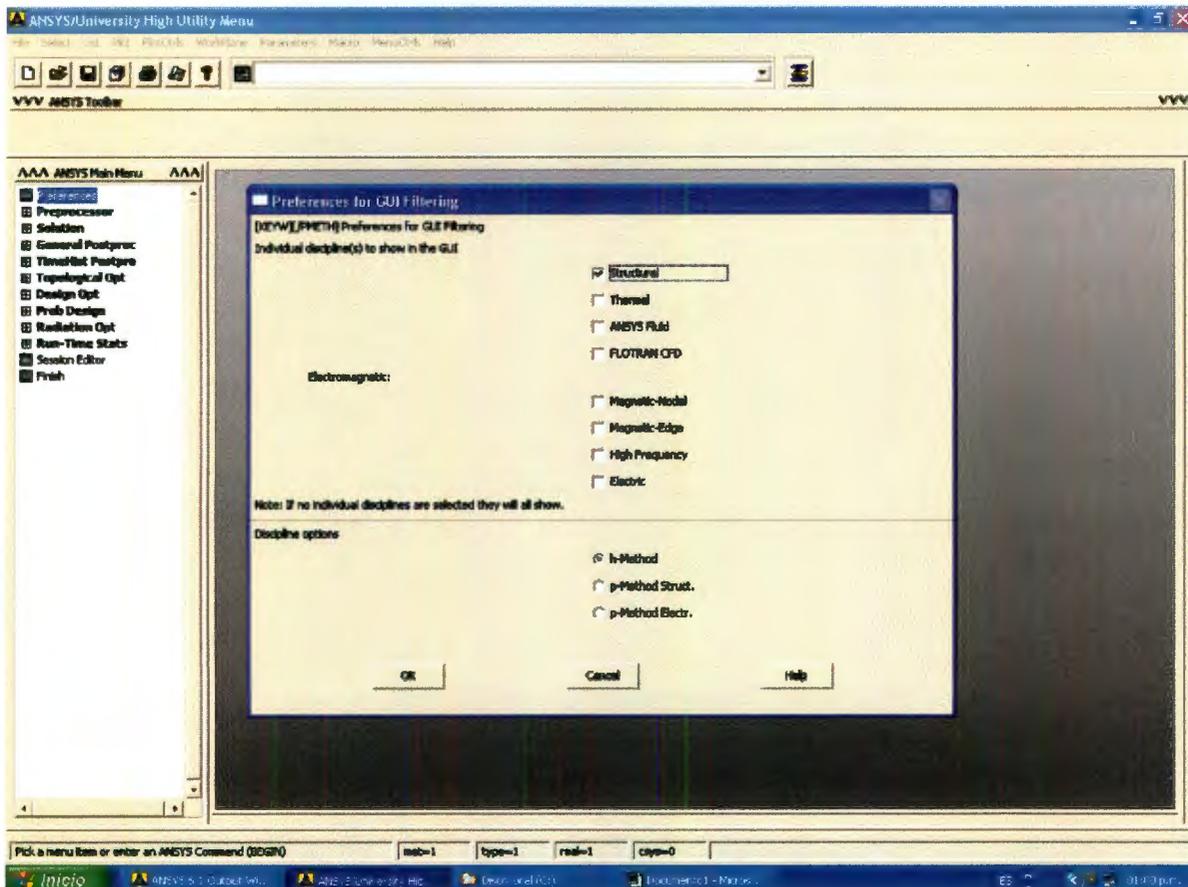
5. CAPTURA DEL MODELO EN EL PROGRAMA ANSYS.

5.1 ESTABLECIMIENTO DE GEOMETRÍA

a) Primeramente hay que establecer en que disciplina se habrá de trabajar, en nuestro caso es, ESTRUCTURAL.

Modo de activarse:

Se entra a preferences, structural.



b) La planta de cimentación a analizar, se introducirá geoméricamente mediante coordenadas, en donde nuestro primer punto es el uno, 1(0.00,0.00), correspondiente al origen, y así sucesivamente hasta el término de nuestras coordenadas que hayamos establecido, bajo el siguiente criterio:

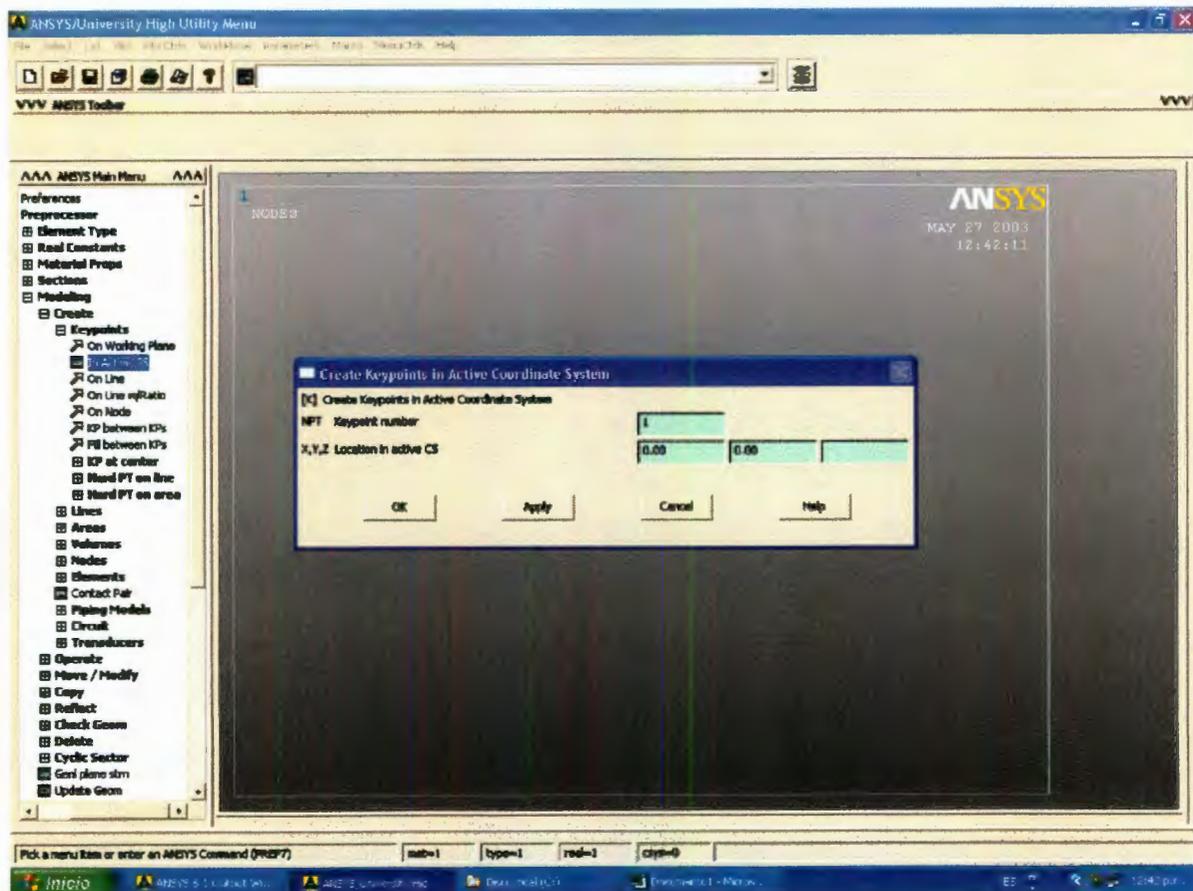
Además de haber asignado coordenadas en cada intersección de dos ó más elementos, se debe asignar a los puntos en que exista una fuerza concentrada(ver plano coordenadas de la cimentación), con la finalidad de que a la hora de asignar cargas, resulte práctico introducirlas.

Modo de activarse:

- 1) Se entra a preprocessor, modeling, create, keypoints, In Active SC. *
- 2) O bien vía comando;K

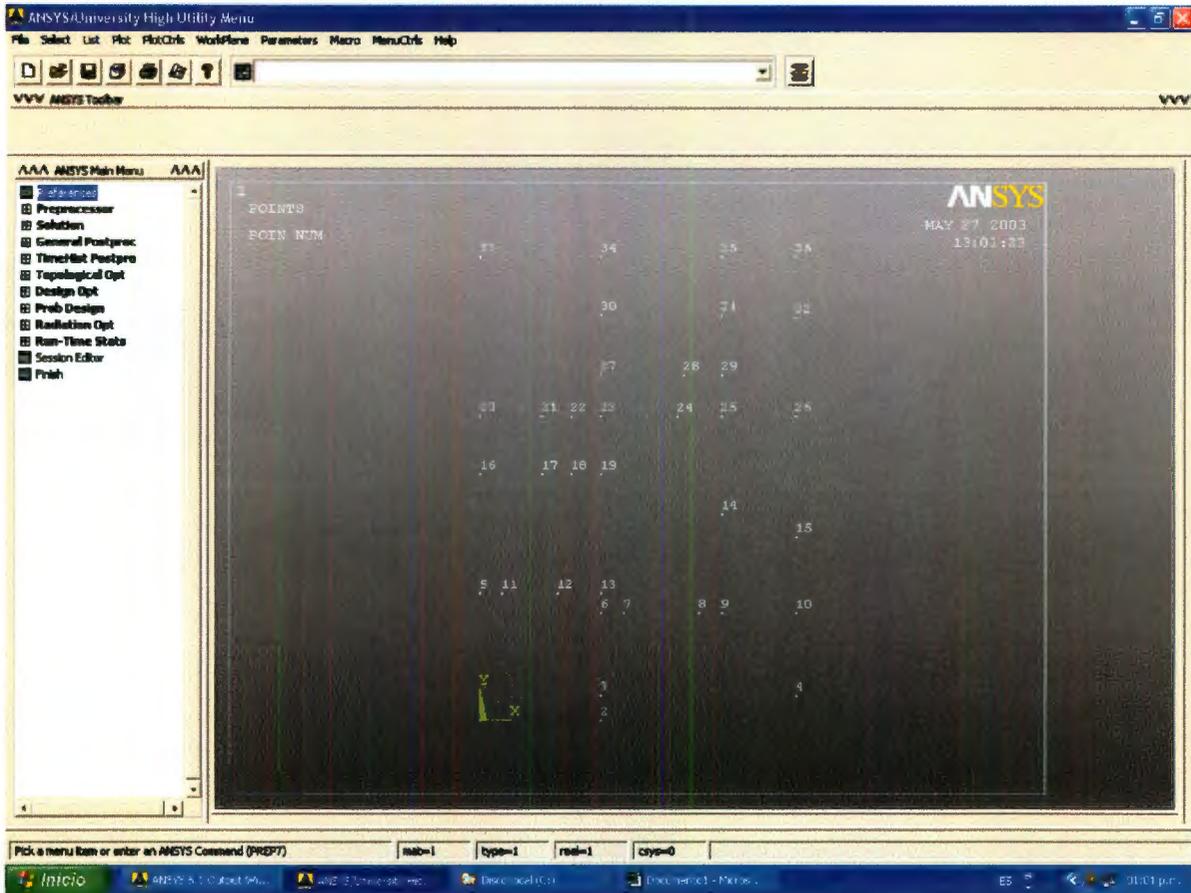
Sintaxis: K,NPT,X,Y,Z.

Es decir; Keypoints,Numero de punto, coordenada X, Coordenada Y, Coordenada Z.



*Todas los modos u opciones 1, que se describan de aquí en adelante, son sólo las que se muestran esquemáticamente.

Una vez introducidas todas las coordenadas(keypoints, en ANSYS), nos queda así:



c) Se comienza a efectuar el trazo de Líneas.

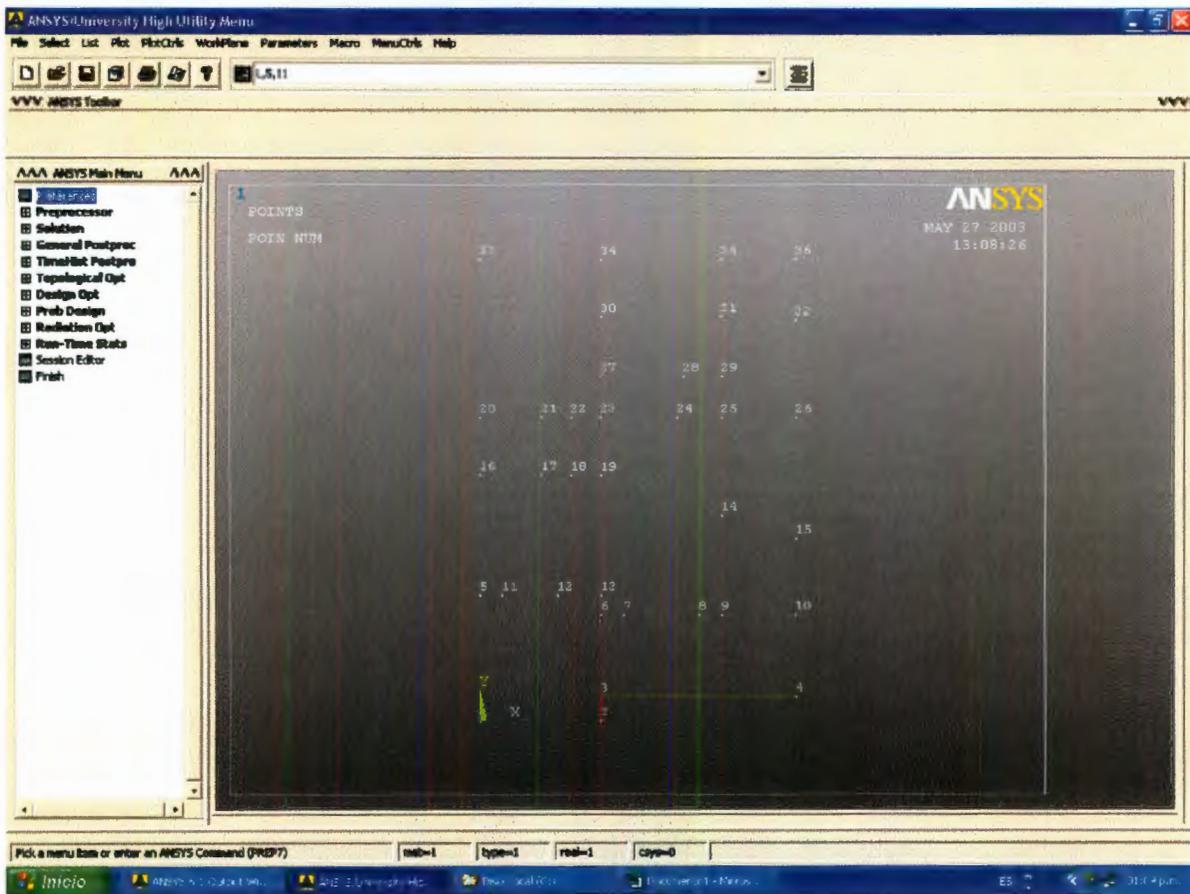
Modo de activarse:

1) Vía comando; L

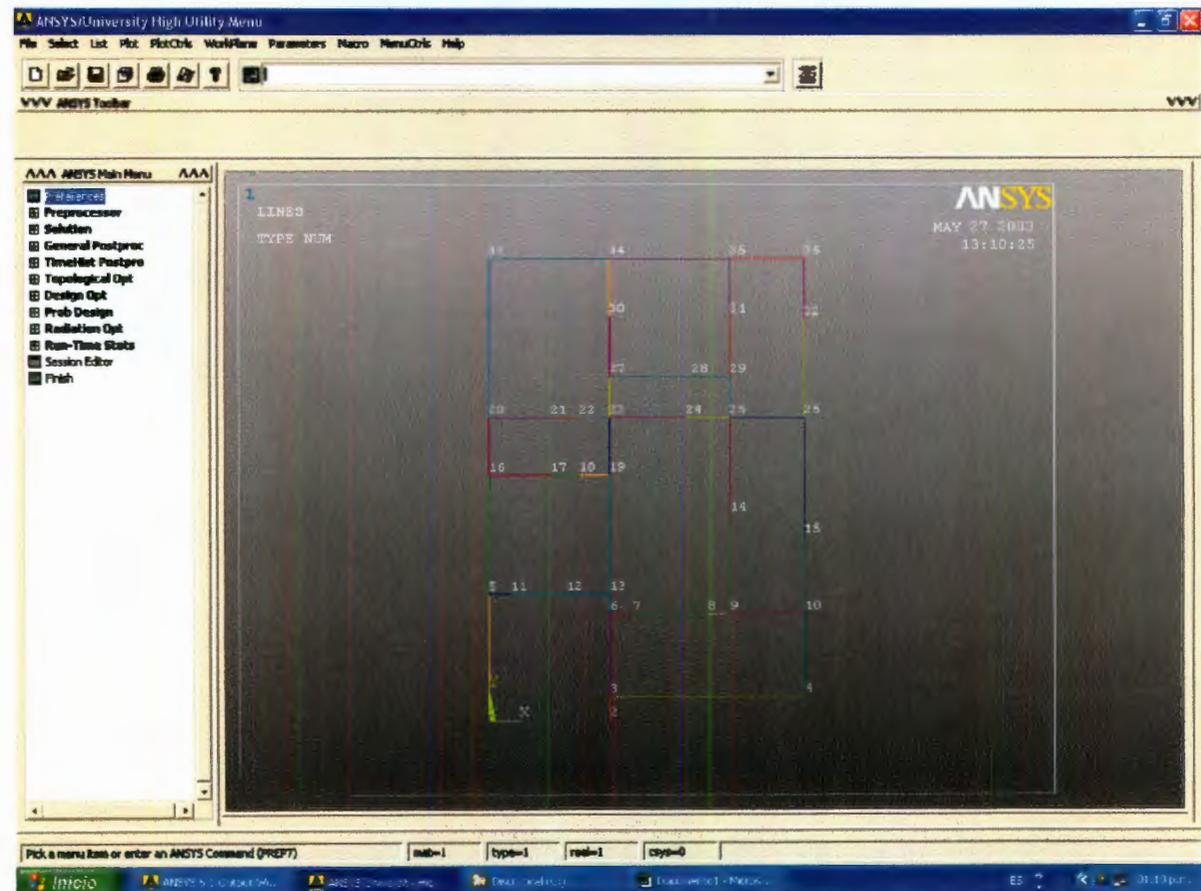
Sintaxis: L, P1,P2.

L, Traza la línea del punto 1, al punto 2.

3) Mediante un trazo manual, entrando a; Preprocessor, modeling, create, Lines,Lines, Straight line.



Una vez concluido el trazo total de líneas de la cimentación, se tiene esquemáticamente así:



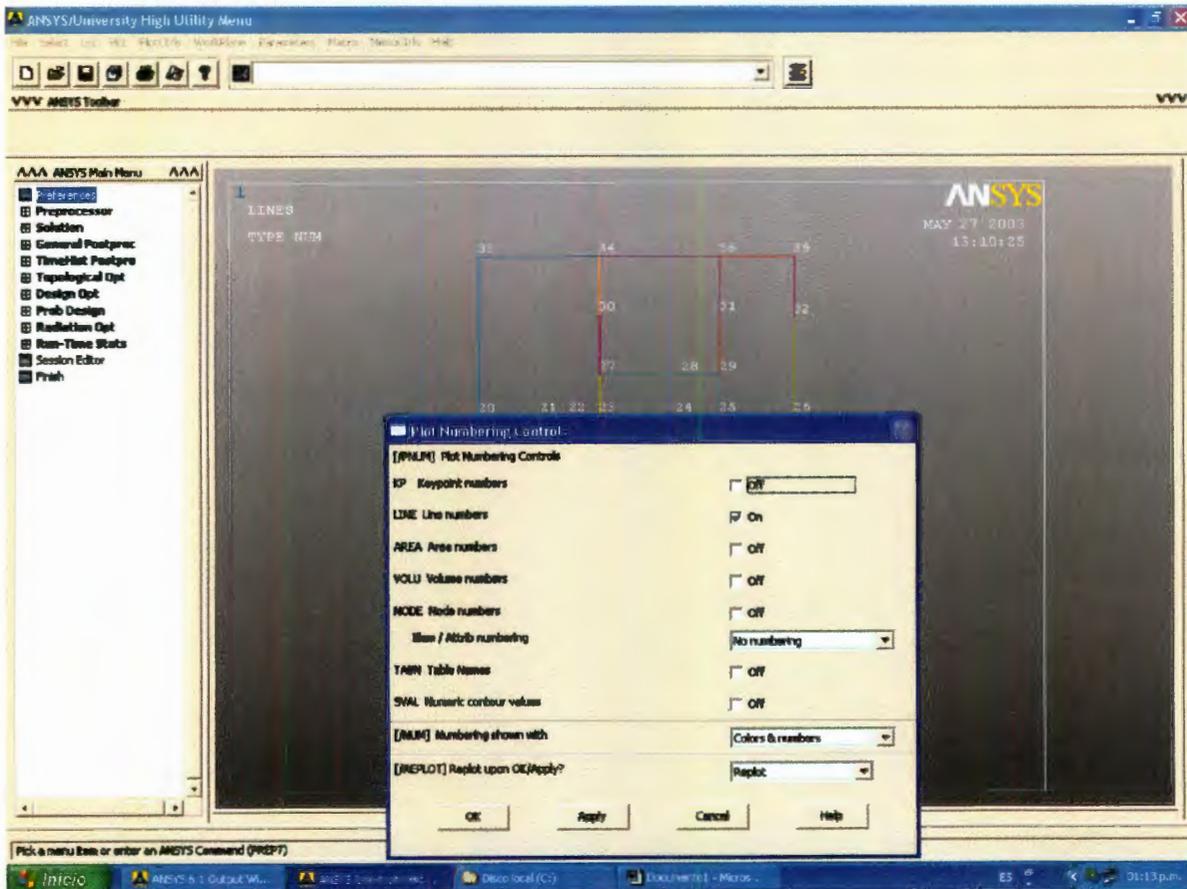
- Después se procede a la división de líneas en "n" sublíneas.

Sí el procedimiento es mediante comando. Antes de hacerlo deberá de activarse que se muestre el número de cada una de las líneas:

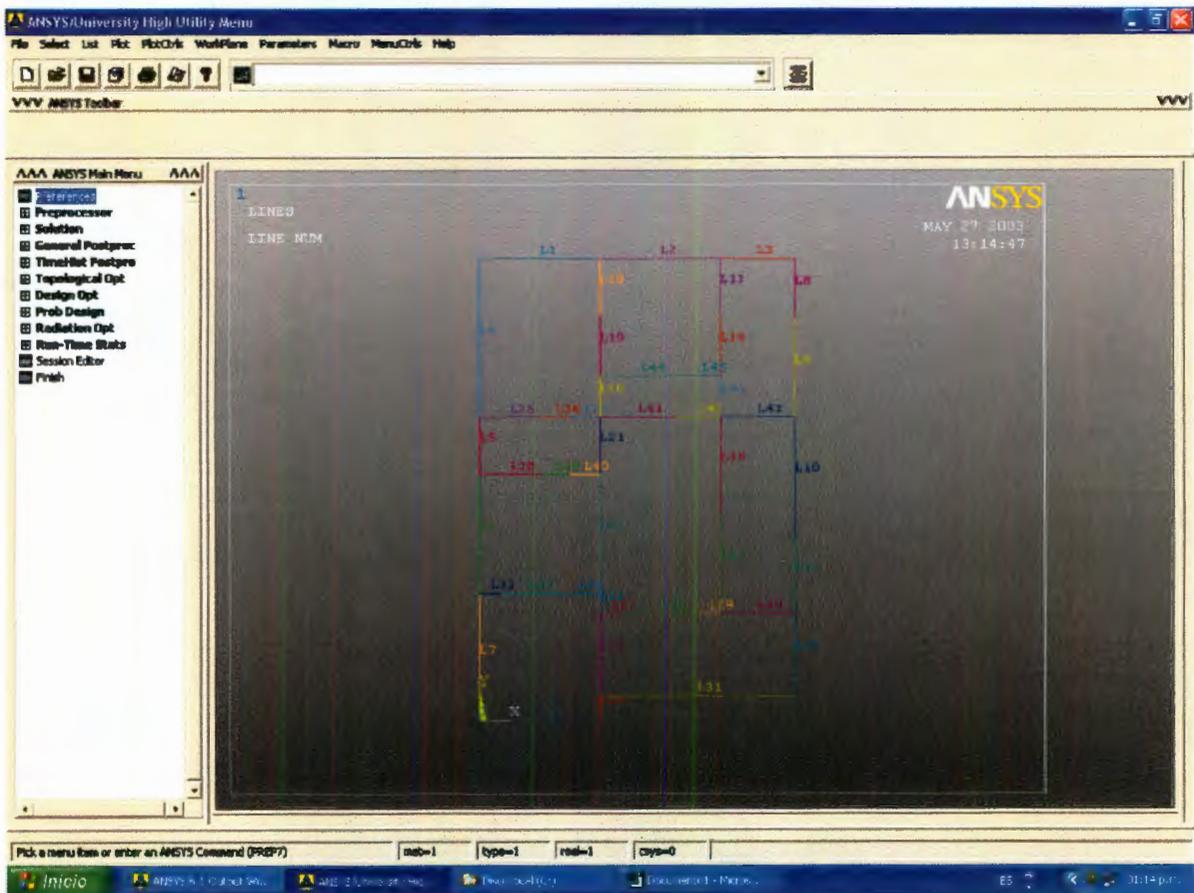
Modo de activarse:

Se entra al menú PlotCtrls, Numbering, y se activa Line Numbers.

Esto con la finalidad de que se aprecie esquemáticamente que línea y cuantas divisiones se deberán realizar, bajo el criterio de efectuar divisiones pares (recomendable de 2 y 4 divisiones, en líneas pequeñas y grandes respectivamente), con la finalidad de obtener información en los extremos y al centro de cada trabe, considerados como críticos.



Cuando se haya activado la instrucción anterior, que muestra el número de línea, quedará así:



d) División de Líneas.

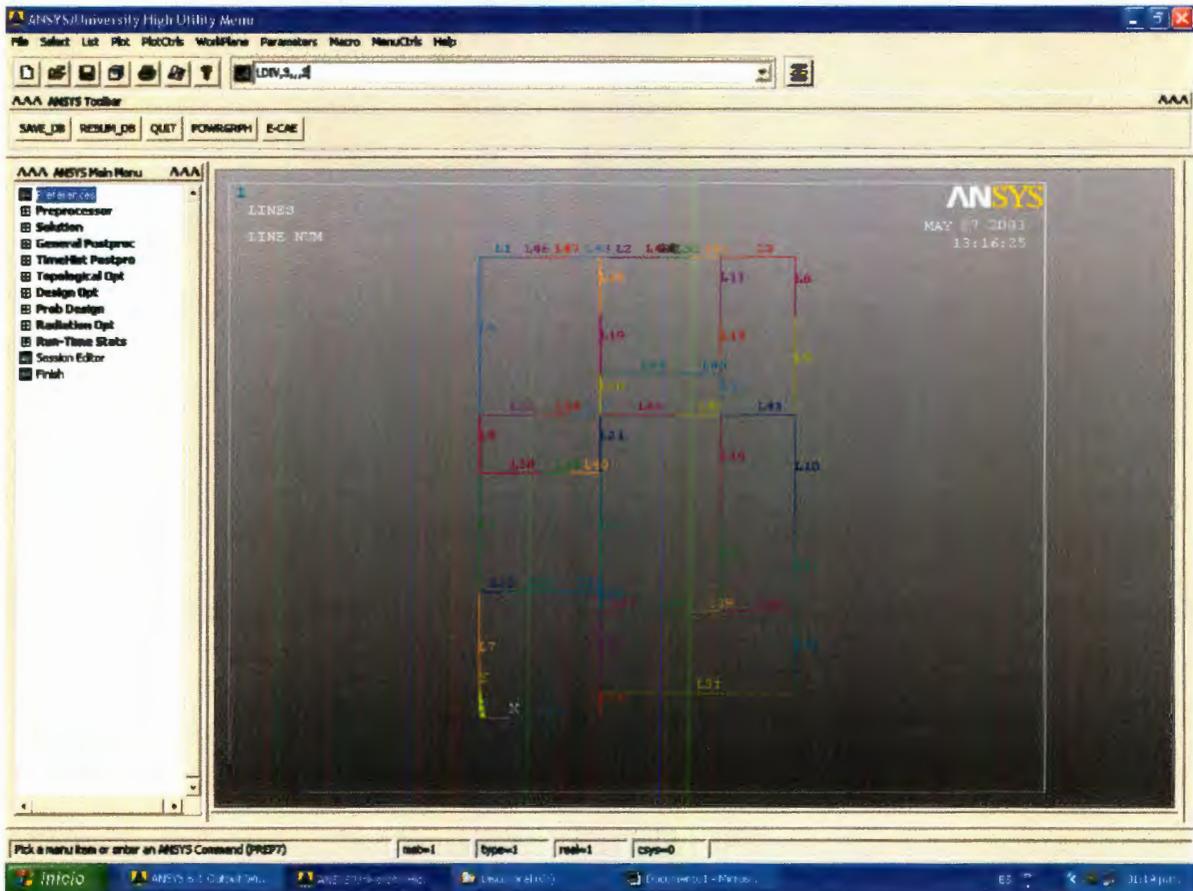
Modo de activarse:

- 1) Mediante el comando LDIV.

Sintaxis: **LDIV,NL1,,,NDIV;**

LDIV, Número de Línea a dividir,,,Número de divisiones a efectuar.

- 2) Asignación de división manual, se entra: Modeling, Operate, Booleans, Divide, Line into N Ln's.



6TA. ETAPA

6. ASIGNACIÓN DE VARIABLES.

H= PERALTE PROPUESTO PARA LAS TRABES (MT)

B= ANCHO DE TRABES (MT)

FC= RESISTENCIA DEL CONCRETO (200-400 KG/CM²)

RIGS= RIGIDEZ DEL SUELO, ARCILLA BLANDA-ARCILLA MEDIA (650-1300 Y 1300-4000 T/M³), RESPECTIVAMENTE.

LA RESISTENCIAS DE UNA ARCILLA BLANDA Y MEDIA SON; $q_u=2.5$ A 5 T/M² Y $q_u=5$ A 20 T/M², RESPECTIVAMENTE.

PNEG= PRESION NEGATIVA (5-30 T/M²)

NESC= NUMERO DE SISTEMAS DE PRESION ALEATORIA POR ANALIZAR (1-50)

NEA= NUMERO DE ELEMENTOS ALEATORIOS EN UN SISTEMA (1-20)

NU= NUMERO DE PUAASSON, ES LA RELACIÓN DE LA DEFORMACION HORIZONTAL VS. VERTICAL.

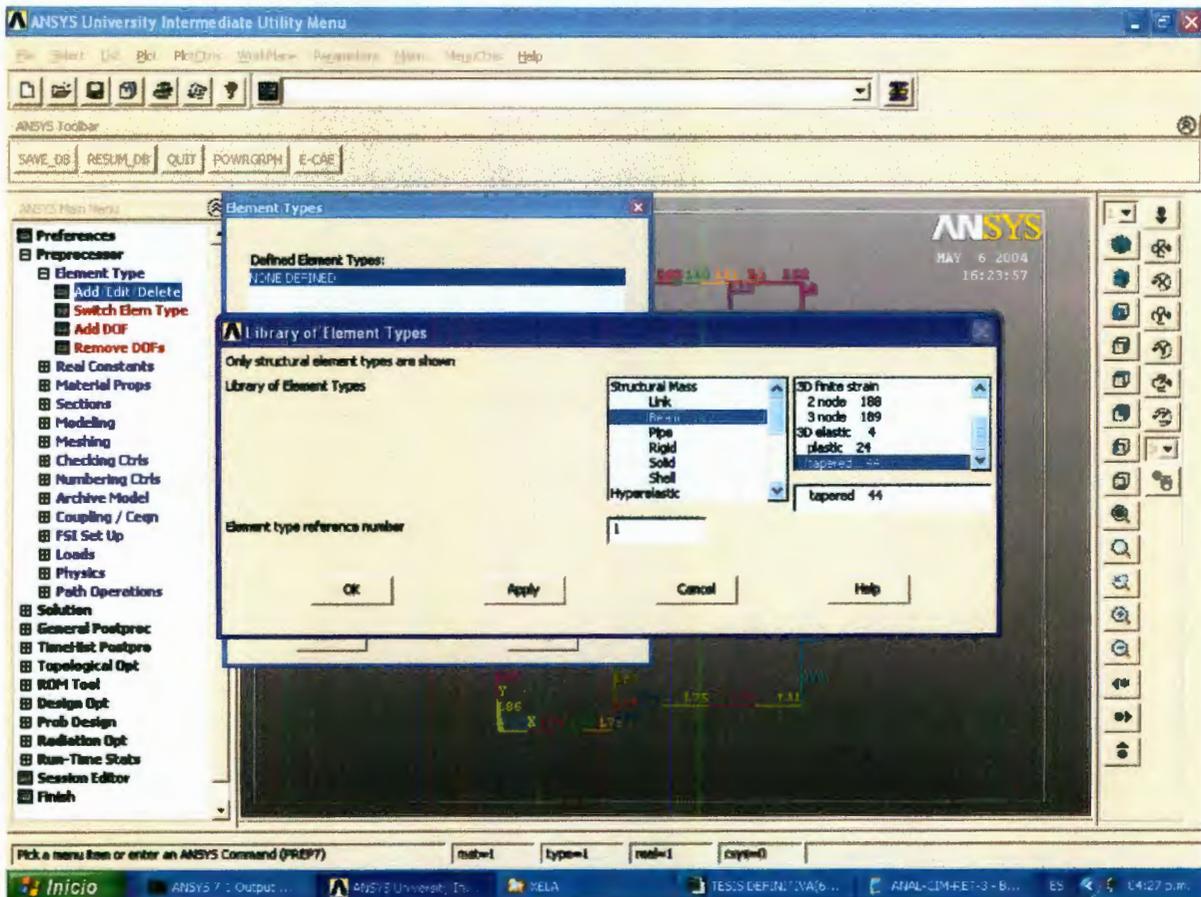
H=0.3
B=0.15
FC=300
RIGS=1000
PNEG=20
NESC=10
NEA=5
FYA=4200
PVOL=2.4
NU=0.15

7. ASIGNACIÓN DEL ELEMENTO FINITO BEAM44.

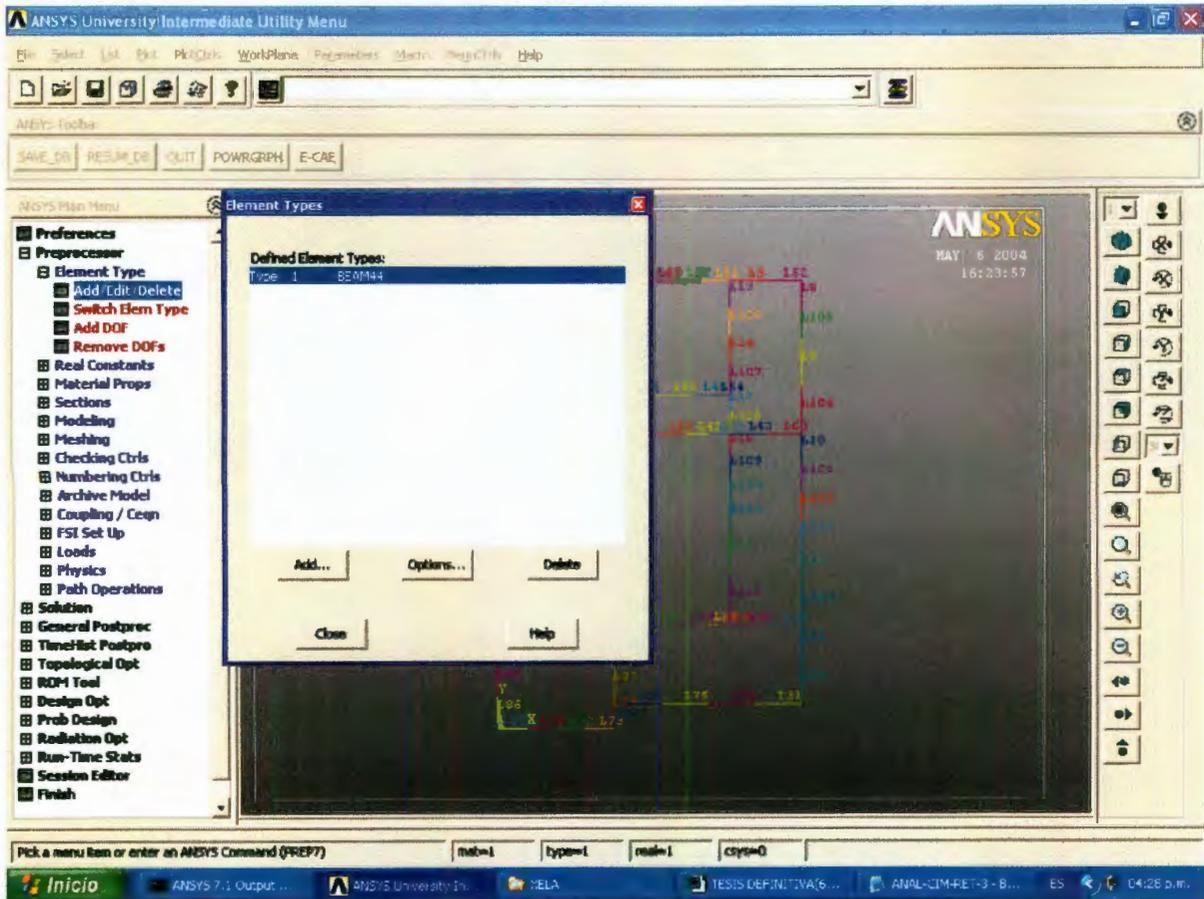
Modo de asignación:

Se entra a; Preprocessor, Element type, add/Edit/Delete

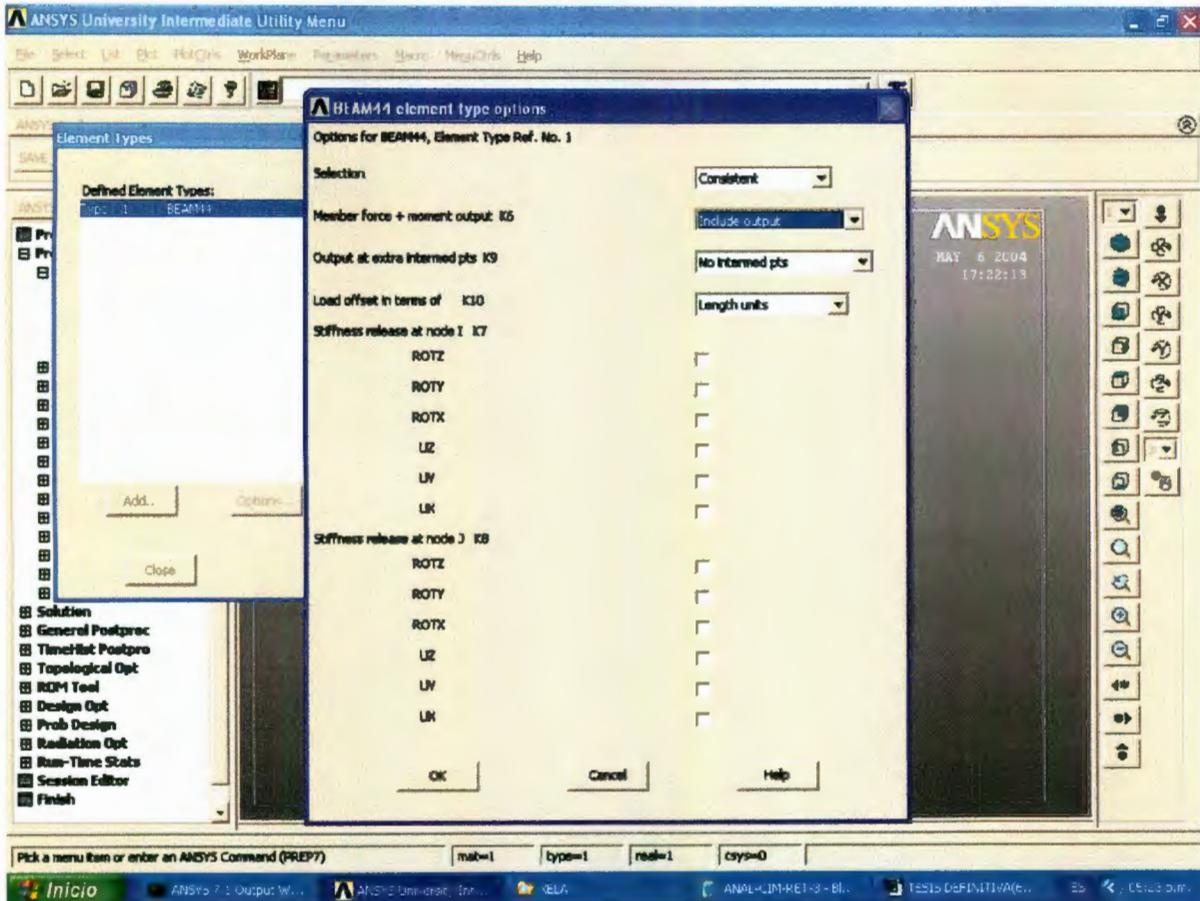
Y se entra en agregar, y se escoge de Library of Element Type, el elemento Finito BEAM44. Como se muestra en la siguiente imagen:



Una vez señalado el elemento finito Beam44, queda indicado como sigue:



Además se seleccionan sus keyopt , del elemento finito BEAM44, en este caso sólo activamos que en la salida de resultados incluya fuerzas y momentos, como se muestra:



7.1 ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES DE MATERIAL(MP).

Se asignan las propiedades del material como; el Módulo de Elasticidad(EX), que en este caso, se trata del material de concreto, por lo que su valor es igual a:

$$Ex=150000*\text{Raiz}(F'C)$$

Donde;

F'C= está dado en kg/cm^2
Ex= esta dado en Ton/m^2

Otro MP, es la relación de PUASSON(NU); tomada como $NU=0.15$.

Una última MP, es la Densidad del concreto(DENS);

$$DENS=PVOL/9.81$$

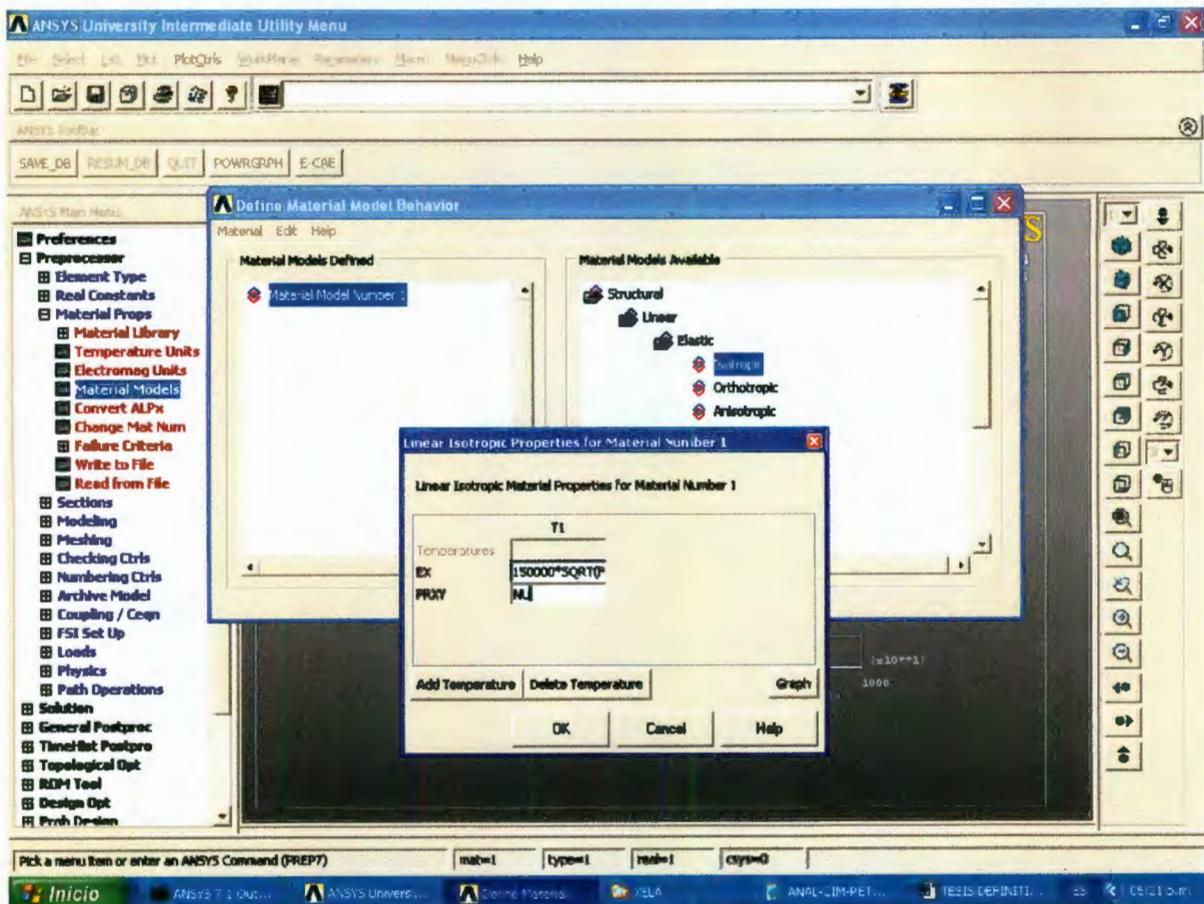
Donde;

PVOL= Es el peso volumétrico del concreto, igual a 2.4T/m^3 .

Modo de asignación:

Se entra a; Preprocessor, Material props, Material models

Aquí se elige la opción de MP, según características del material. Como se muestra en la siguiente imagen:



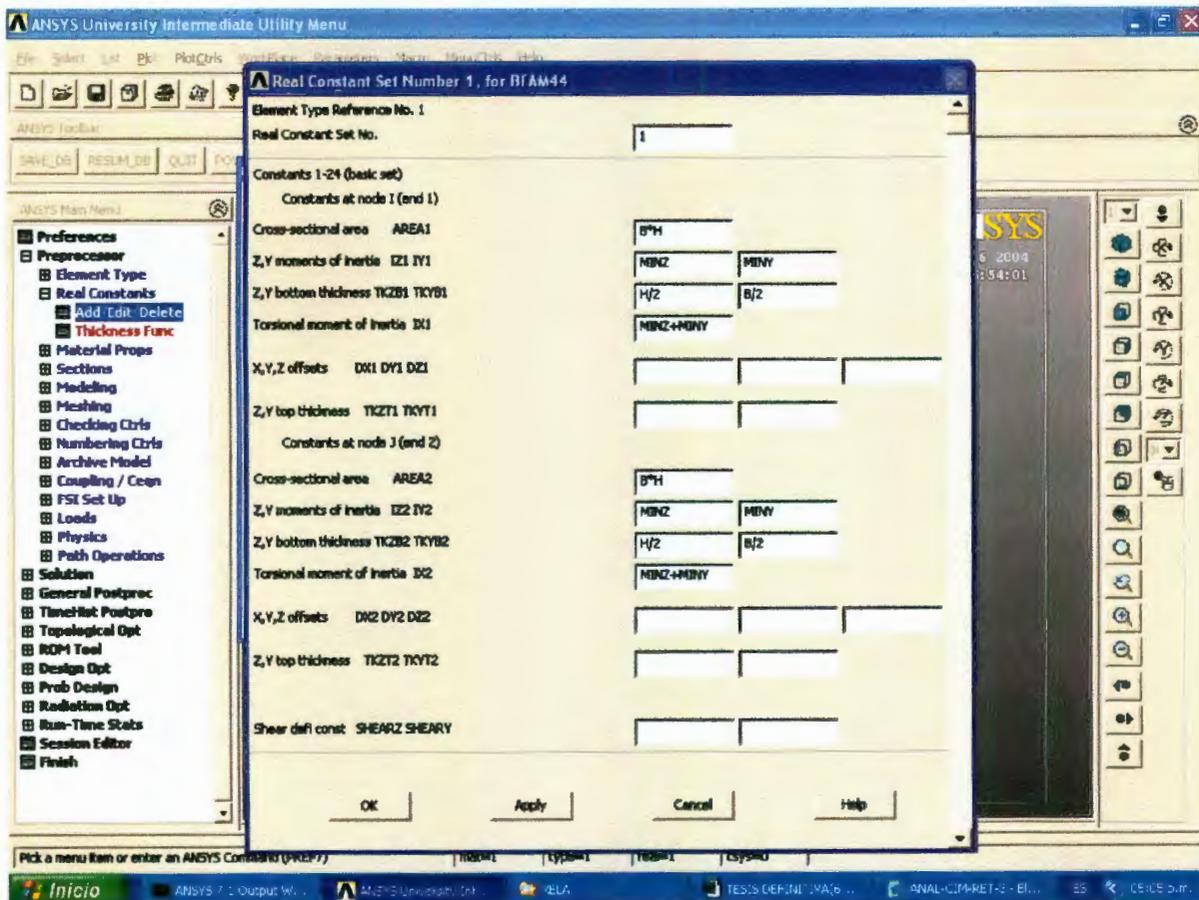
7.2 ASIGNACIÓN DE CONSTANTES REALES.

Las constantes reales son parte de los datos que requiere este elemento y que lo caracterizan.

Modo de asignación:

Se entra a; Preprocessor, Real Constants, add/Edit/Delete

Y se entra en agregar, y se definen las constantes reales para BEAM44. Como se muestra en la siguiente imagen:



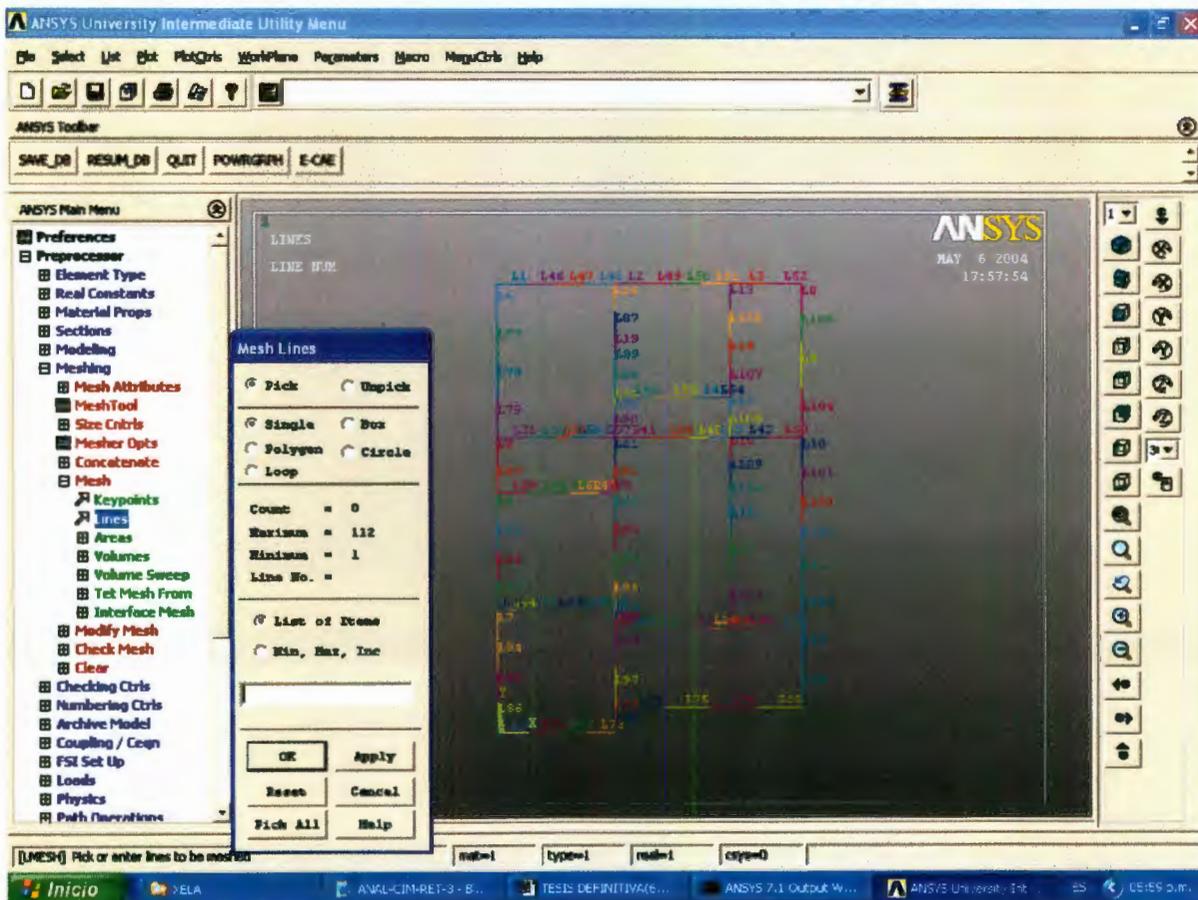
8. MALLADO DE LA RETÍCULA.

En esta parte las líneas se convierten en elementos y los keypoints se convierten en nodos.

Modo de asignación:

Se entra a; Preprocessor, Meshing, Mesh, lines

Y se entra pick all,. Como se muestra en la siguiente imagen:



8.1 DIMENSIONAMIENTO DE VECTORES.

En esta parte creamos los espacios (renglones y columnas), es decir tablas donde grabaremos los resultados, para poder apreciarlos y analizarlos. Por lo general estos vectores se van creando conforme se van obteniendo resultados. En este caso se crearon los siguientes espacios,

Modo de activarse:

1) Bajo el comando *DIM:

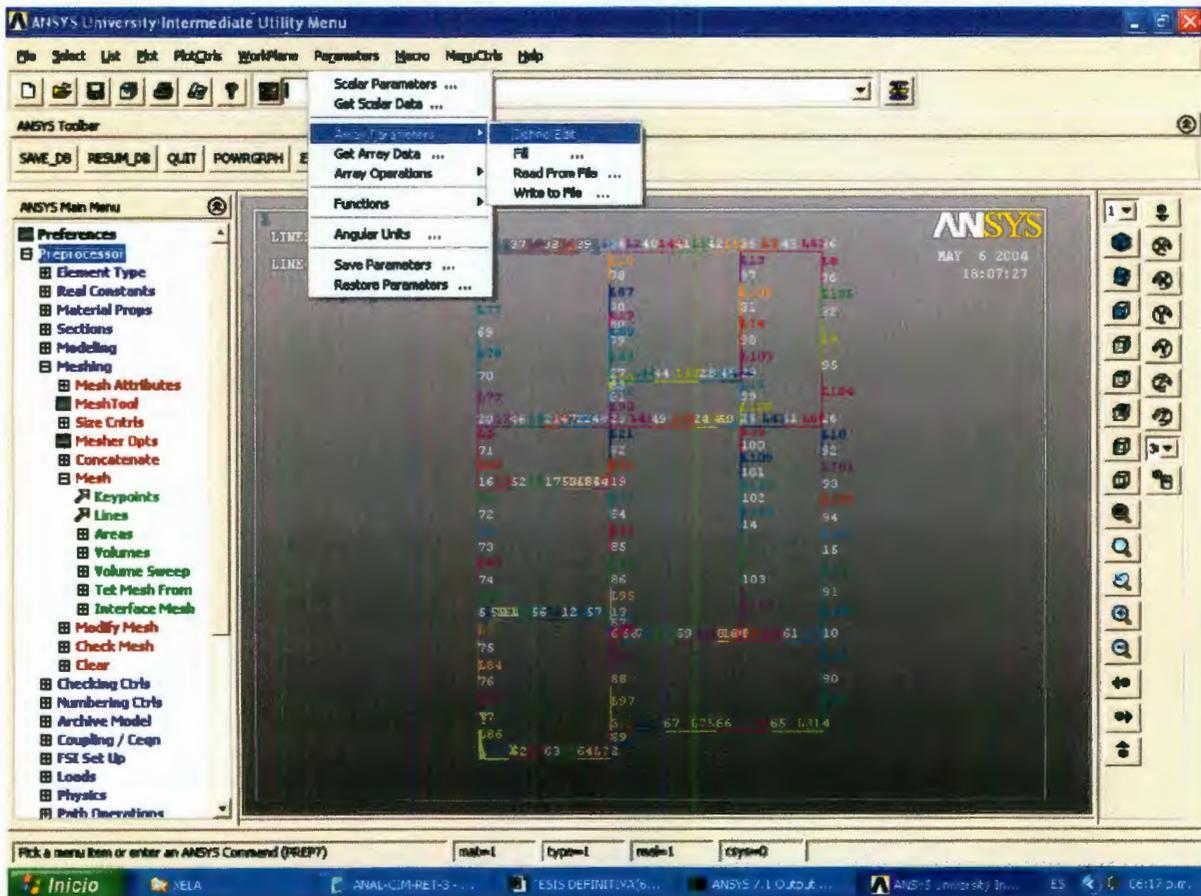
Sintaxis

*DIM, Par,, lmax, Jmax, Kmax, , , , ,

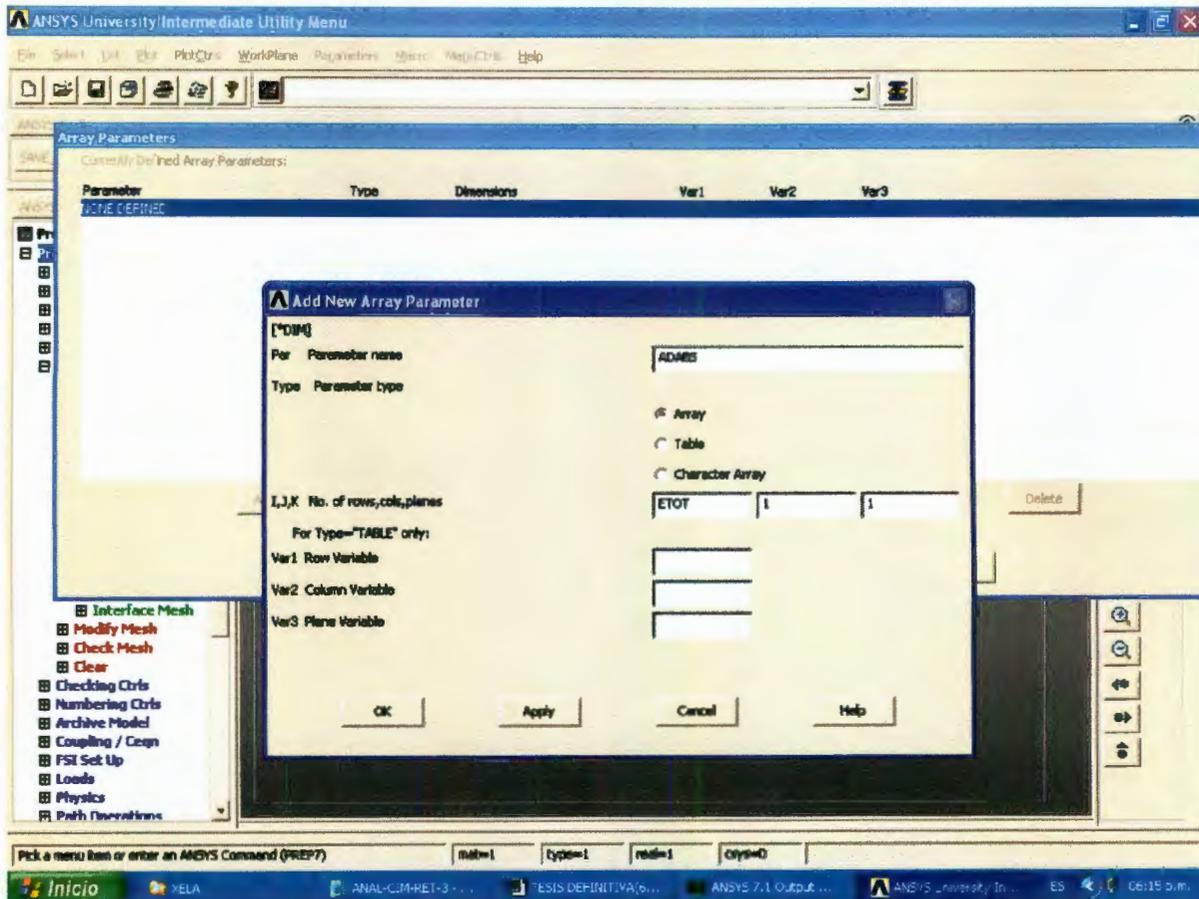
*DIM, nombre de la tabla,, Num.renglones, Num.columnas, , , , ,

2) De manera manual:

Se entra en la barra de menús, a Parameters, Array parameters, Define/Edit. Como se muestra a continuación:



Y se escribe el nombre de la tabla y posteriormente el dimensionamiento: Renglon, columnas y planos, como se ve en la imagen:



En nuestro programa de modelación dimensionamos los siguientes vectores:

```
*DIM,ADABS,,ETOT
*DIM,ASDMAX,,(NESC)
*DIM,ELADM,,(NESC)
*DIM,DZMAX,,(NESC)
*DIM,NZMAX,,(NESC)
*DIM,MYIM,,(NESC)
*DIM,VYIM,,(NESC)
*DIM,LONGE,,(NESC)
*DIM,DISANG,,(NESC)
*DIM,DATOS,,(NESC),12
*DIM,EA,,NEA,(NESC)
*DIM,EAMYIM,,(NESC)
*DIM,EAVYIM,,(NESC)
*DIM,PCON1,,(NESC)
*DIM,EAPCON1,,(NESC)
*DIM,ECON,,(NESC)
*DIM,EAECON,,(NESC)
```

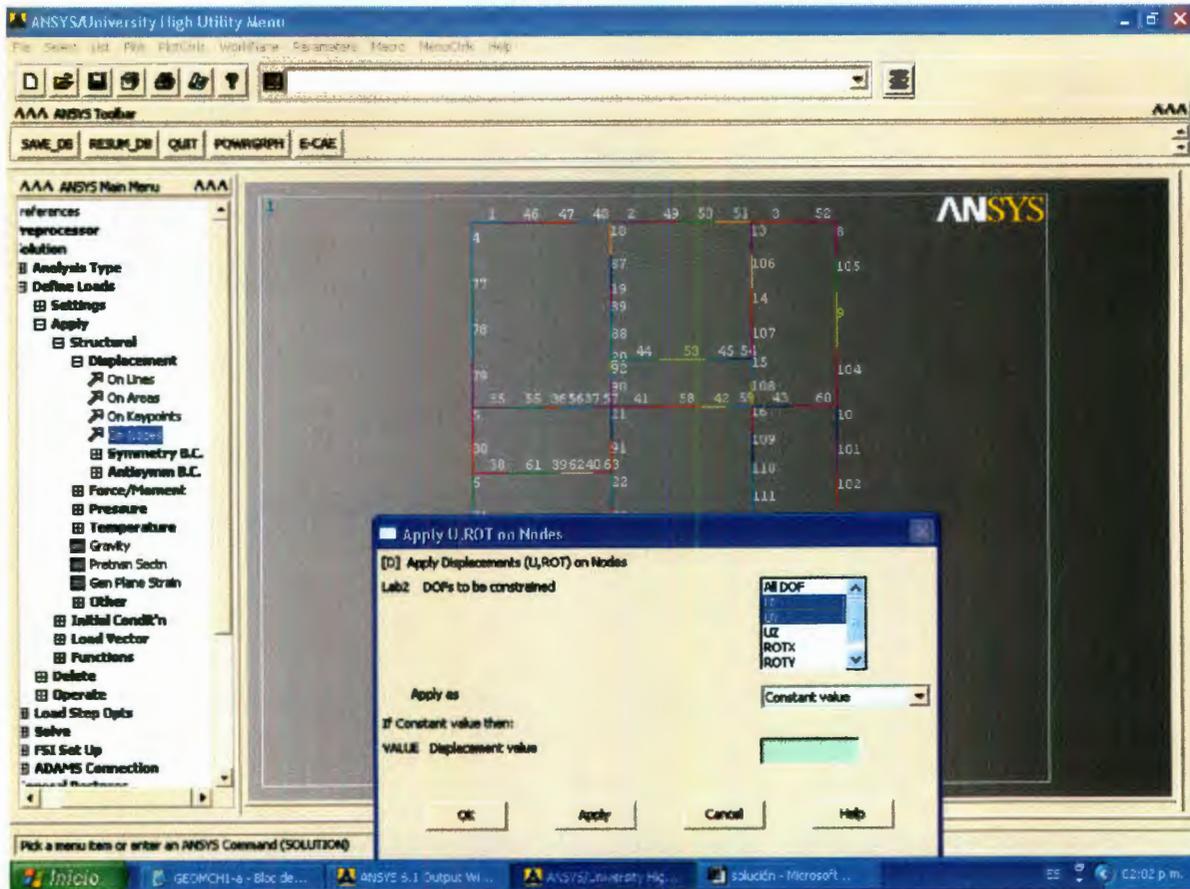
9. RESTRICCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS.

Establecimiento de condiciones de frontera.

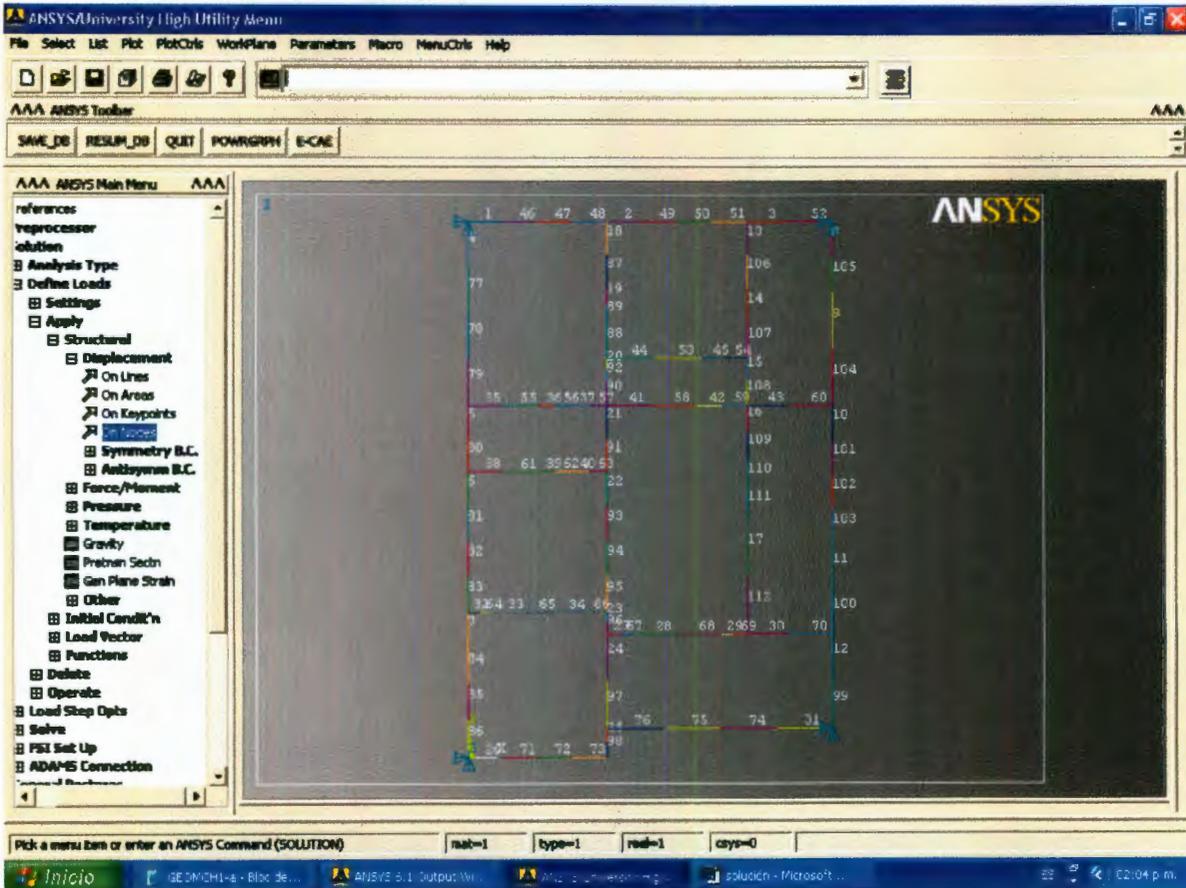
Para no generar algún tipo de inestabilidad del sistema estructural, procederemos a restringir los cuatro puntos de nuestra planta de cimentación, como sigue:

Modo de Activarse.

Se entra a Solución, Define Loads, Apply, Structural, Displacement, On nodes; y de manera manual encerramos cada uno de los nodos de las esquinas, al termino de ello saldrá una ventana en la cual nos pide que marquemos los desplazamientos que vamos a restringirles a estos nodos. En nuestro caso son; UX y UY (direcciones x,y).



Al final, las cuatro esquinas principales restringidas nos quedan señaladas así:

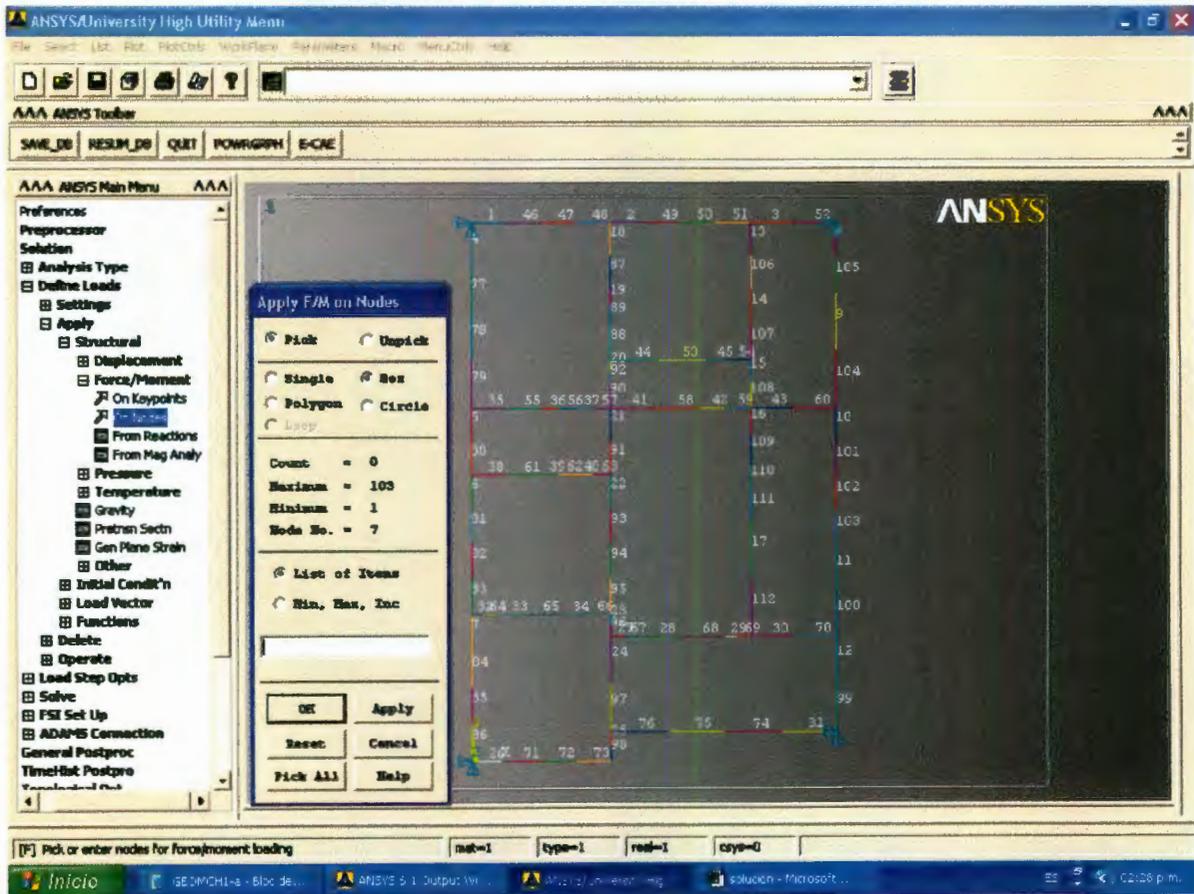


9.1 INTRODUCCIÓN DE CARGAS:

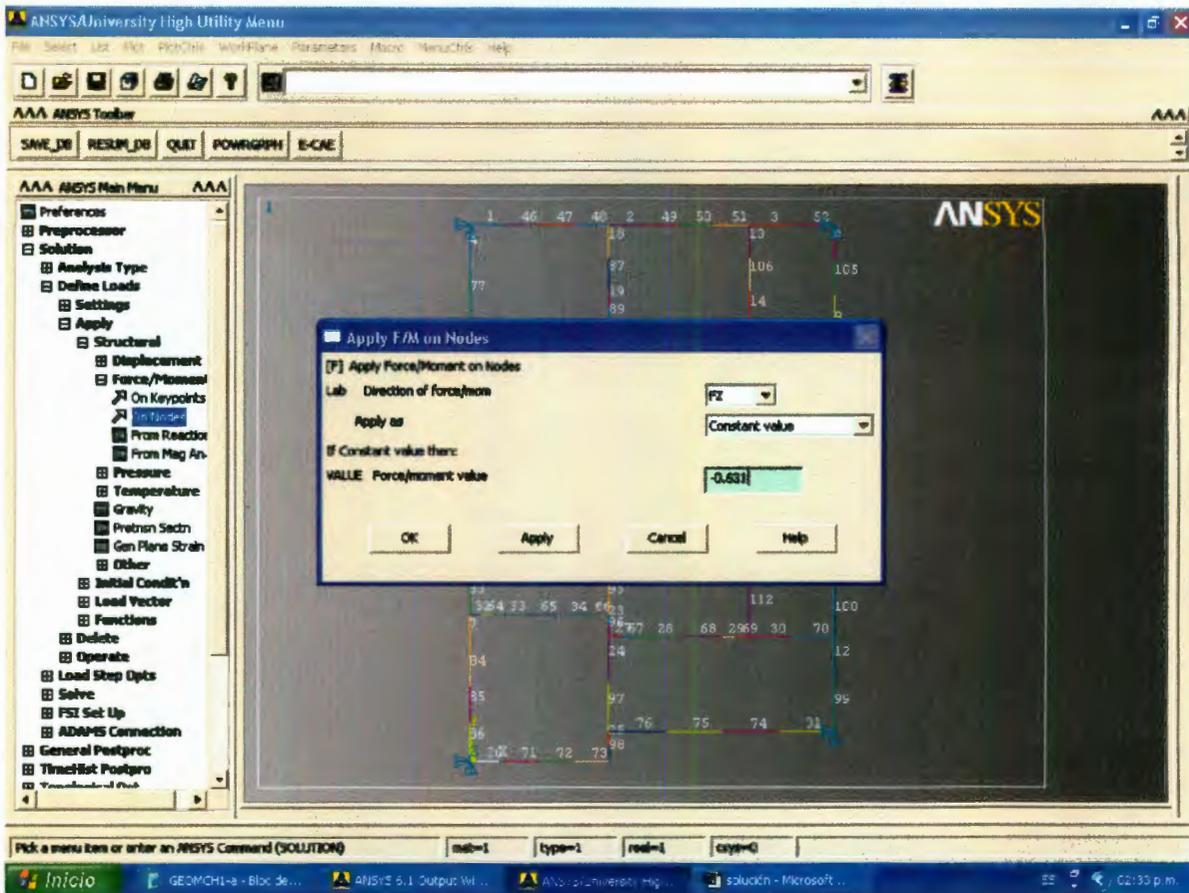
1) Concentradas.

Modo de Activarse.

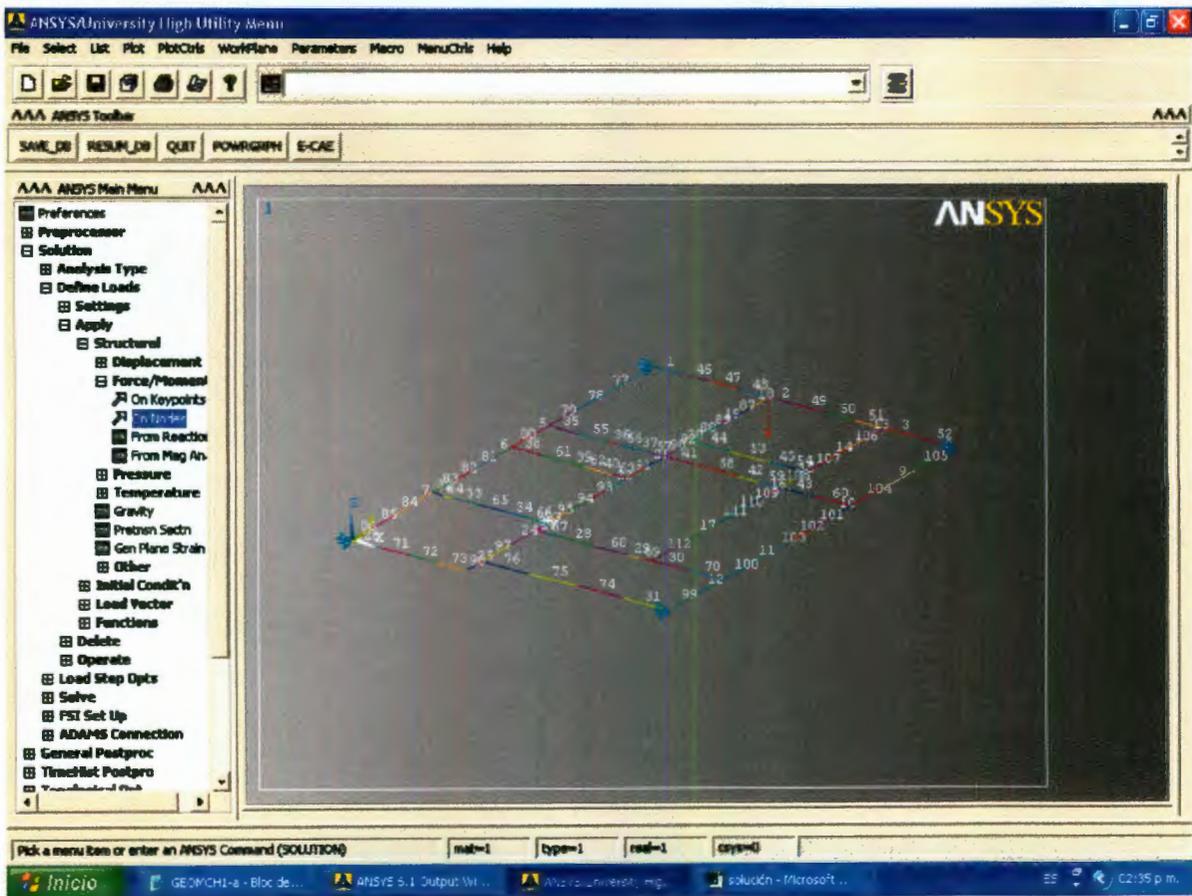
Se entra a Solución, Define Loads, Apply, Structural, Force/moment, On nodes; Después de ello saldrá una ventana en la que nos da la opción Box, la cual señalamos para hacer un encierre manual del nodo en donde se encuentre actuando la carga concentrada. Como se ve en la siguiente imagen:



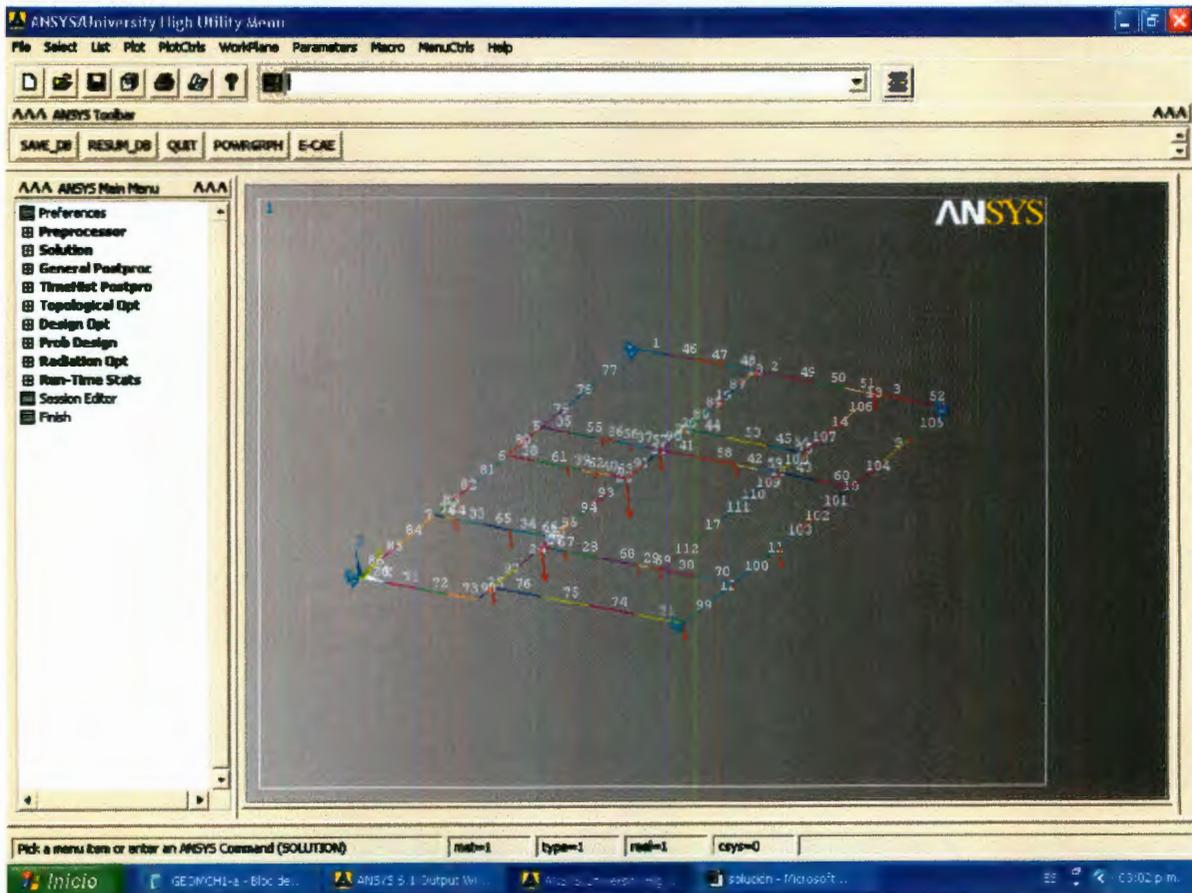
Inmediatamente después aparecerá otro recuadro, que nos pedirá la dirección en que actúa la carga concentrada y su magnitud (para la dirección de cargas gravitacionales será en el eje -Z). Y Así sucesivamente se vuelve a repetir el procedimiento para una siguiente carga concentrada, hasta culminar.



Colocando en posición isométrica la planta de cimentación, la carga se aprecia perfectamente, como se muestra abajo:



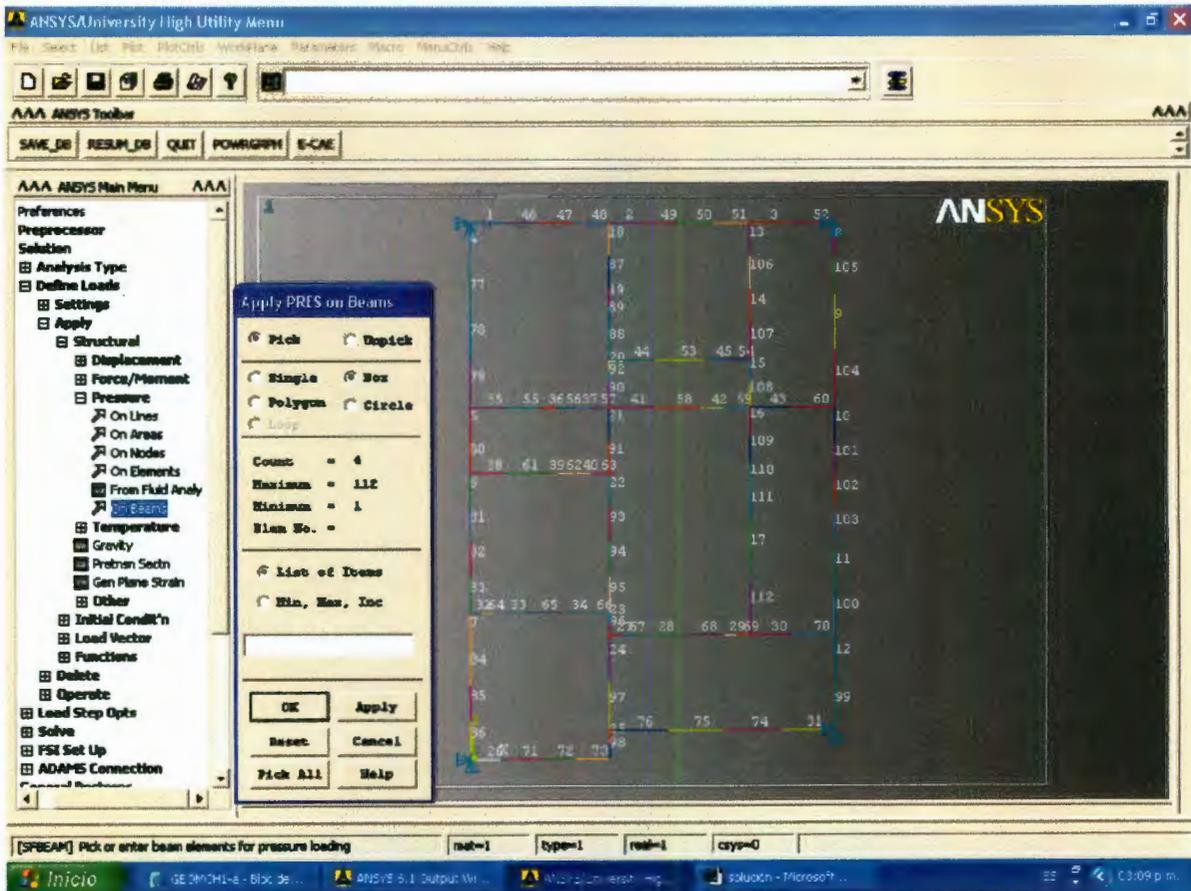
Al final de introducir todas las cargas, se tiene la siguiente imagen:



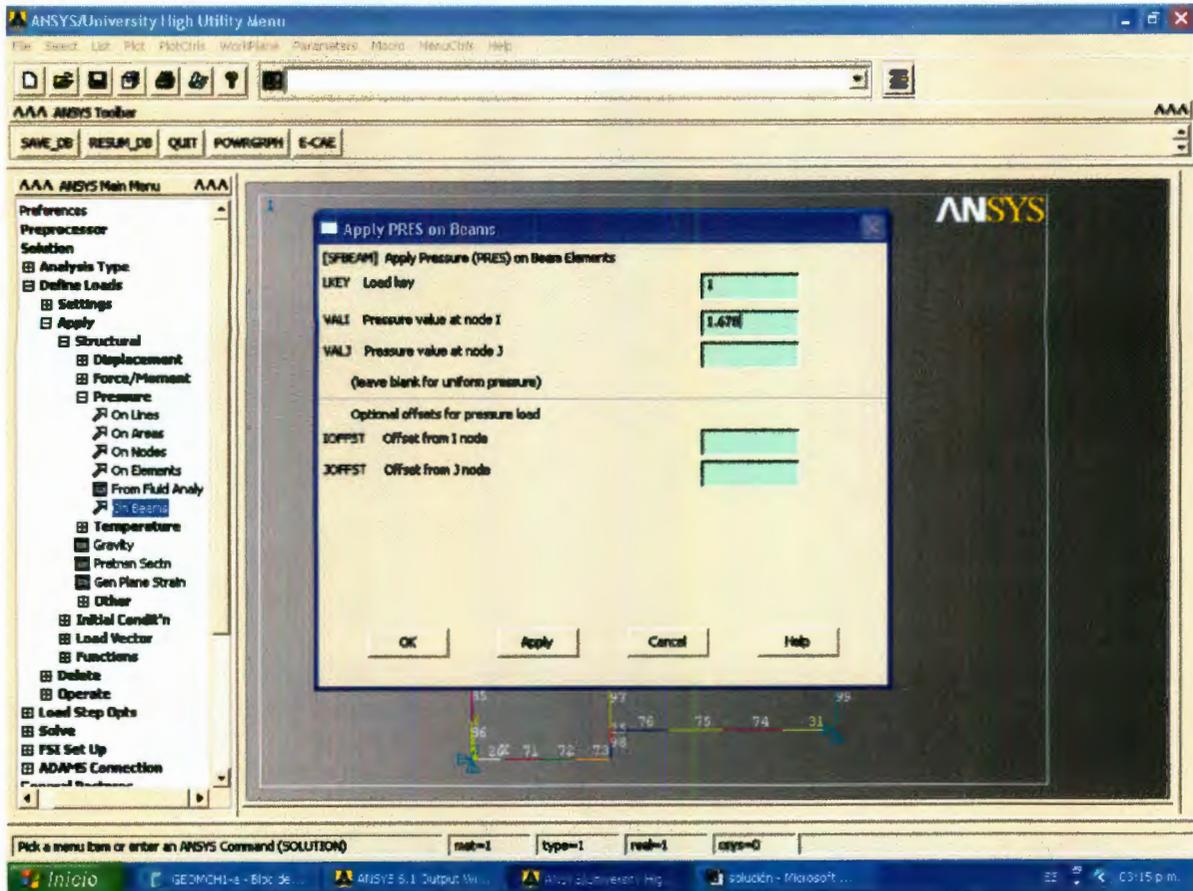
2) Distribuidas.

Modo de Activarse.

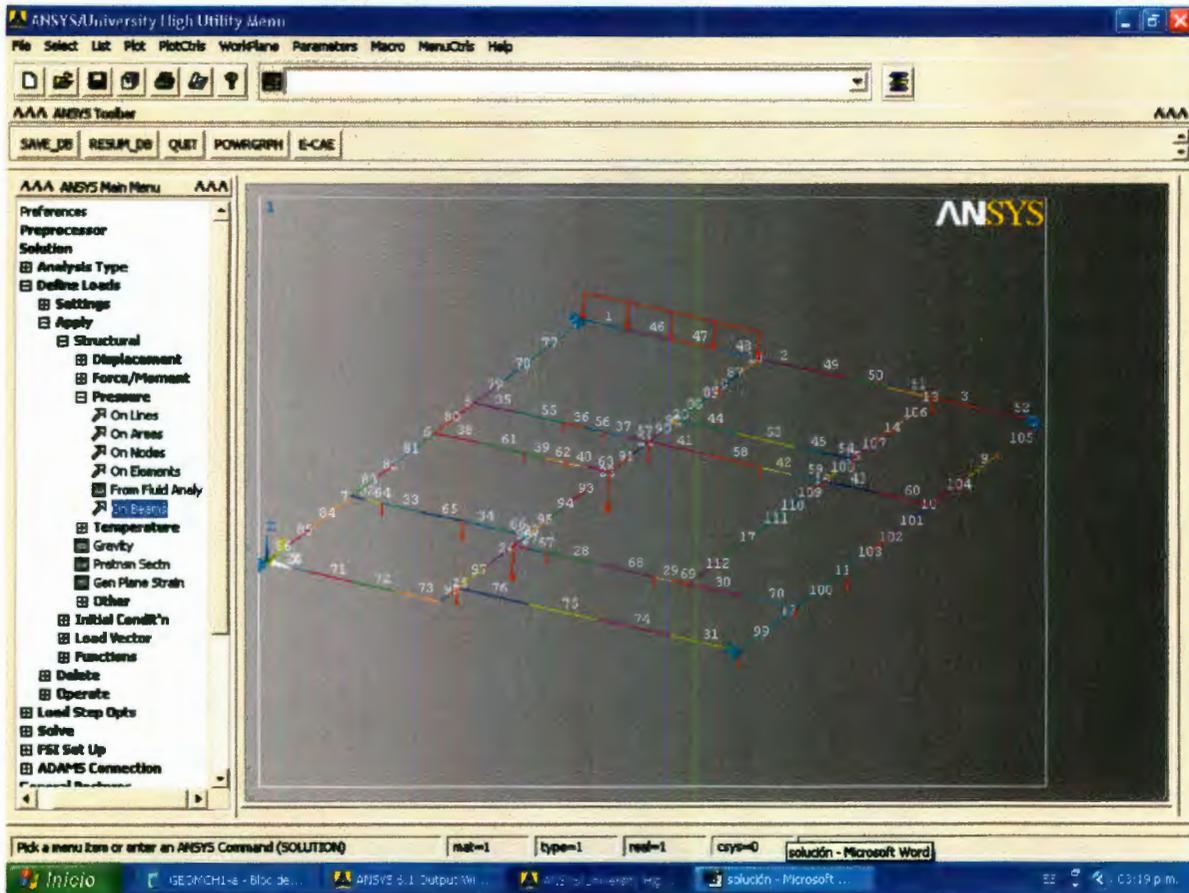
Se entra a Solución, Define Loads, Apply, Structural, Pressure, On Beams; Después de ello saldrá una ventana en la que nos da la opción Box, la cual señalamos para hacer un encierre manual del las vigas(Beams) en donde se encuentre actuando la carga uniforme distribuida. Como se ve en la siguiente imagen:



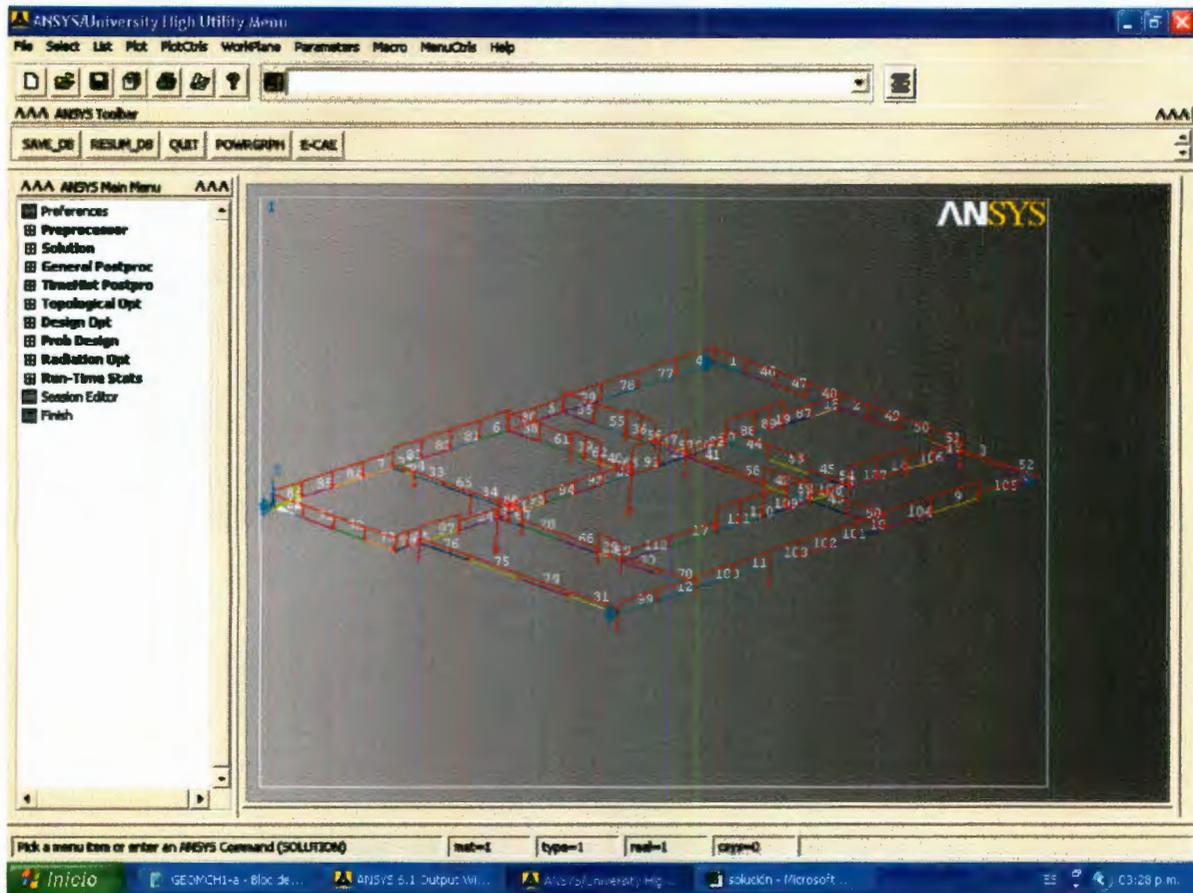
Después de ello, se nos pedirá la magnitud de la carga uniformemente distribuida.



Una vez asignada la carga, rotamos la planta a la posición isométrica, para una buena apreciación de la carga distribuida y así verificar su buena asignación.



Finalmente, al término de todas las asignaciones de cargas, se puede apreciar la planta de cimentación así:



10A. ETAPA

10. MACRO DEL PROGRAMA DE MODELACIÓN DE CIMENTACIÓN RETICULAR A BASE DE TRABES PERALTADAS SOBRE ARCILLAS EXPANSIVAS MEDIANTE EVENTOS ALEATORIOS.

Nota: El macro esta basado según diagrama de flujo, marcado en la 4ª etapa.

10.1 M A C R O No.1

Este primer macro corresponde al análisis de la cimentación reticular bajo un estado de **cargas muertas + cargas vivas promedio**.

```
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
/COM,SE ENTRA AL AREA DE ESTRUCTURAS EXCLUSIVAMENTE EN EL PROGRAMA ANSYS.
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
KEYW,PR_CFD,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural
!*
/PREP7
/COM,CREACIÓN DE COORDENADAS DE LA RETICULA.
K,1,,
K,2,3.15,0,,
K,3,3.15,0.65,,
K,4,8.23,0.65,,
K,5,0,3.3,,
K,6,3.15,2.8,,
K,7,3.75,2.8,,
K,8,5.70,2.8,,
K,9,6.30,2.8,,
K,10,8.23,2.8,,
K,11,0.55,3.3,,
K,12,2,3.3,,
K,13,3.15,3.3,,
K,14,6.30,5.4,,
K,15,8.23,4.80,,
K,16,0,6.45,,
```

K,17,1.6,6.45,,
 K,18,2.35,6.45,,
 K,19,3.15,6.45,,
 K,20,0,7.95,,
 K,21,1.60,7.95,,
 K,22,2.35,7.95,,
 K,23,3.15,7.95,,
 K,24,5.15,7.95,,
 K,25,6.30,7.95,,
 K,26,8.23,7.95,,
 K,27,3.15,9.03,,
 K,28,5.30,9.03,,
 K,29,6.30,9.03,,
 K,30,3.15,10.60,,
 K,31,6.30,10.6,,
 K,32,8.23,10.5,,
 K,33,0,12.10,,
 K,34,3.15,12.1,,
 K,35,6.30,12.1,,
 K,36,8.23,12.1,,
 K,36,8.23,12.1,,

/COM,CREACIÓN DE LINEAS DE LA RETICULA.

L, 33, 34
 L, 34, 35
 L, 35, 36
 L, 33, 20
 L, 20, 16
 L, 16, 5
 L, 5, 1
 L, 36, 32
 L, 32, 26
 L, 26, 15
 L, 15, 10
 L, 10, 4
 L, 35, 31
 L, 31, 29
 L, 29, 25
 L, 25, 14
 L, 14, 9
 L, 34, 30
 L, 30, 27
 L, 27, 23
 L, 23, 19
 L, 19, 13
 L, 13, 6
 L, 6, 3
 L, 3, 2
 L, 1, 2
 L, 6, 7
 L, 7, 8
 L, 8, 9
 L, 9, 10
 L, 4, 3
 L, 5, 11
 L, 11, 12
 L, 12, 13
 L, 20, 21
 L, 21, 22
 L, 22, 23
 L, 16, 17
 L, 17, 18
 L, 18, 19

```
L, 23, 24
L, 24, 25
L, 25, 26
L, 27, 28
L, 28, 29
/PNUM,LINE,1
```

```
L PLOT
/COM,DIVISIÓN DE LINEAS EN SUBLINEAS DE LA RETICULA,
/COM,CON EL FIN DE OBTENER UNA INFORMACIÓN MAS A DETALLE.
```

```
ldiv,1,,4
ldiv,2,,4
ldiv,3,,2
ldiv,44,,2
ldiv,45,,2
ldiv,35,,2
ldiv,36,,2
ldiv,37,,2
ldiv,41,,2
ldiv,42,,2
ldiv,43,,2
ldiv,38,,2
ldiv,39,,2
ldiv,40,,2
ldiv,32,,2
ldiv,33,,2
ldiv,34,,2
ldiv,27,,2
ldiv,28,,2
ldiv,29,,2
ldiv,30,,2
ldiv,26,,4
ldiv,31,,4
ldiv,4,,4
ldiv,5,,2
ldiv,6,,4
ldiv,7,,4
ldiv,18,,2
ldiv,19,,2
ldiv,19,,2
ldiv,20,,2
ldiv,21,,2
ldiv,20,,2
ldiv,22,,4
ldiv,23,,2
ldiv,24,,2
ldiv,25,,2
ldiv,12,,2
ldiv,11,,2
ldiv,10,,4
ldiv,9,,2
ldiv,8,,2
ldiv,13,,2
ldiv,14,,2
ldiv,15,,2
ldiv,16,,4
ldiv,17,,2
```

```
/COM,SE ESTABLECEN LAS VARIABLES DEL PROGRAMA.
```

```
/COM,H-PERALTE PROPUESTO PARA LAS TRABES (MT)
/COM,B-ANCHO DE TRABES (MT)
```

```

/COM,FC-RESISTENCIA DEL CONCRETO (200-400 KG/CM2)
/COM,RIGS-RIGIDEZ DEL SUELO, ARCILLA BLANDA-ARCILLA MEDIA (650-1300 Y 1300-4000 T/M3),
/COM,RESPECTIVAMENTE.
/COM, RESISTENCIAS ARCILLA BLANDA Y MEDIA; qu=2.5 A 5 T/M2 Y qu=5 A 20 T/M2,
RESPECTIVAMENTE.
/COM,PNEG-PRESION NEGATIVA (5-30 T/M2)
/COM,NESC-NUMERO DE SISTEMAS DE PRESION ALEATORIA POR ANALIZAR (1-50)
/COM,NEA-NUMERO DE ELEMENTOS ALEATORIOS EN UN SISTEMA (1-20)
/COM,NU-NUMERO DE PUAASSON,ES LA RELACION DE LA DEFORMACION HORIZONTAL VS. VERTICAL.
H=.3
B=.15
FC=300
RIGS=1000
PNEG=20
NESC=10
NEA=5
FYA=4200
PVOL=2.4
NU=0.15

/COM,SE DECLARA EL ELEMENTO FINITO BEAM44, CON SUS KEYOP.
ET,1,BEAM44
KEYOPT,1,2,0
KEYOPT,1,6,1
KEYOPT,1,9,0
KEYOPT,1,10,0
KEYOPT,1,7,0
KEYOPT,1,8,0

/COM,SE DECLARAN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL.
MP,EX,1,150000*SQRT(FC)
MP,DENS,1,PVOL/9.81
MP,PRXY,1,NU
MINZ=(H*B**3)/12
MINY=B*(H**3)/12

/COM,SE DECLARAN LAS CONSTANTES REALES DEL ELEMENTO.
R,1,B*H,MINZ,MINY,H/2,B/2,MINY+MINZ
RMORE,B*H,MINZ,MINY,H/2,B/2,MINY+MINZ
RMOD,1,19,1.2
RMOD,1,20,1.2
RMOD,1,21,H/2
RMOD,1,22,B/2
RMOD,1,23,H/2
RMOD,1,24,B/2
RMOD,1,35,RIGS

/COM,SE MALLA LA RETICULA DE CIMENTACION, DONDE LOS KYEPOINT Y LINEAS SE CONVIERTEN
EN
/COM,NODOS Y ELEMENTOS, RESPECTIVAMENTE.
LESIZE,ALL,,1,,1,,1,,1,
LMESH,ALL

/COM,SE PIDE EL NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS FINITOS EN LA RETICULA.
*GET,ETOT,ELEM,0,COUNT

/COM,DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES UTILIZADOS
/COM
*DIM,ADABS,,ETOT
*DIM,ASDMAX,,(NESC)
*DIM,ELADM,,(NESC)
*DIM,DZMAX,,(NESC)

```

*DIM,NZMAX,,(NESC)
*DIM,MYIM,,(NESC)
*DIM,VYIM,,(NESC)
*DIM,LONGE,,(NESC)
*DIM,DISANG,,(NESC)
*DIM,DATOS,,(NESC),12
*DIM,EA,,NEA,(NESC-1)
*DIM,EMYIM,,(NESC)
*DIM,EVYIM,,(NESC)
*DIM,PCON1,,(NESC)
*DIM,EPCON1,,(NESC)
*DIM,ECON,,(NESC)
*DIM,EECON,,(NESC)

FINISH

/SOLU

!*
/COM,INICIA ALEABC-CONDICIONES DE FRONTERA

/COM,LOS DESPLAZAMIENTOS RESTRINGIDOS SE PLANTEAN BASICAMENTE

/COM,CON EL FIN DE GARANTIZAR LA ESTABILIDAD DE LA CIMENTACION

/COM

/SOLU

ANTYPE,0

FLST,2,4,1,ORDE,4

FITEM,2,1

FITEM,2,14

FITEM,2,48

FITEM,2,57

!*
/COM,SE APLICAN ENSEGUIDA LAS CARGAS PUNTUALES SOBRE LOS NODOS.

/COM,SE MULTIPLICAN LAS CARGAS PUNTUALES Y CONCENTRADAS POR 1.08, FACTOR QUE DETERMINAMOS

/COM,CON LA FINALIDAD DE INCLUIR LAS CARGAS VIVAS PROMEDIO, PARA EFECTOS DE CALCULO DE

/COM,ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES,SEGUN RCDF, Y ASÍ EVITARNOS HACER OTRA BAJADA DE CARGAS.

/COM,ES DECIR LAS CARGAS SON: MUERTAS Y VIVAS, CON VALORES DE SERVICIO.

/GO

D,P51X, , , , ,UX,UY, , , ,

!*
FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,3

!*
/GO

F,P51X,FZ,-.631*1.08

FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,5

!*
/GO

F,P51X,FZ,-1.85*1.08

FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,34

!*
/GO

F,P51X,FZ,-0.631*1.08

FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,25

!*
/GO

F,P51X,FZ,-0.630*1.08

FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,16
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.583*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,36
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.387*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,79
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.37*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,27
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.749*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,65
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.059*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,67
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.763*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,38
!*
/GO
F,P51X,FZ,-2.505*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,75
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.359*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,29
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.379*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,70
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.059*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,72
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.637*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,40
!*
/GO
F,P51X,FZ,-4.937*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,20

```

!*
/GO
F,P51X,FZ,-2.6*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,60
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.47*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,62
!*
/GO
F,P51X,FZ,-2.253*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,44
!*
/GO
F,P51X,FZ,-4.366*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,51
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.226*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,53
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.226*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,55
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.191*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,22
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.191*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,45
!*
/GO
F,P51X,FZ,-0.251*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,46
!*
/GO
F,P51X,FZ,-2.047*1.08
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,57
!*
/GO
F,P51X,FZ,-2.047*1.08
FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,1
FITEM,2,46
FITEM,2,-48

```

```

/COM,SE APLICAN ENSEGUIDA LAS CARGAS DISTRIBUIDAS SOBRE LOS ELEMENTOS.
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.678*1.08, , , , ,
FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,2

```

FITEM,2,49
 FITEM,2,-51
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.636*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,3
 FITEM,2,52
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.328*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,44
 FITEM,2,53
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.815*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,45
 FITEM,2,54
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.507*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,35
 FITEM,2,55
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.447*1.08, , , , ,
 FLST,2,1,2,ORDE,1
 FITEM,2,36
 SFBEAM,P51X,1,PRES, , , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,36
 FITEM,2,56
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.981*1.08, , , , ,
 FLST,2,1,2,ORDE,1
 FITEM,2,36
 FLST,2,1,2,ORDE,1
 FITEM,2,55
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,37
 FITEM,2,57
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.596*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,41
 FITEM,2,58
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.507*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,42
 FITEM,2,59
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.112*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,43
 FITEM,2,60
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.681*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,38
 FITEM,2,61
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.132*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,39
 FITEM,2,62
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.666*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,40
 FITEM,2,63
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.596*1.08, , , , ,
 FLST,2,6,2,ORDE,4
 FITEM,2,32
 FITEM,2,-34
 FITEM,2,64

FITEM,2,-66
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.464*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,27
 FITEM,2,67
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.347*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,28
 FITEM,2,68
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.703*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,29
 FITEM,2,69
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.347*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,30
 FITEM,2,70
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.703*1.08, , , , ,
 FLST,2,4,2,ORDE,3
 FITEM,2,26
 FITEM,2,71
 FITEM,2,-73
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.568*1.08, , , , ,
 FLST,2,4,2,ORDE,3
 FITEM,2,31
 FITEM,2,74
 FITEM,2,-76
 SFBEAM,P51X,1,PRES,0.567*1.08, , , , ,
 FLST,2,4,2,ORDE,3
 FITEM,2,7
 FITEM,2,84
 FITEM,2,-86
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.883*1.08, , , , ,
 FLST,2,4,2,ORDE,3
 FITEM,2,6
 FITEM,2,81
 FITEM,2,-83
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.441*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,5
 FITEM,2,80
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.773*1.08, , , , ,
 FLST,2,4,2,ORDE,3
 FITEM,2,4
 FITEM,2,77
 FITEM,2,-79
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.000*1.08, , , , ,
 FLST,2,2,2,ORDE,2
 FITEM,2,25
 FITEM,2,98
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.883*1.08, , , , ,
 FLST,2,1,2,ORDE,1
 FITEM,2,97
 SFBEAM,P51X,1,PRES,2.019*1.08, , , , ,
 FLST,2,1,2,ORDE,1
 FITEM,2,24
 SFBEAM,P51X,1,PRES,1.160*1.08, , , , ,
 FLST,2,6,2,ORDE,4
 FITEM,2,22
 FITEM,2,-23
 FITEM,2,93
 FITEM,2,-96

SFBEAM,P51X,1,PRES,1.325*1.08, , , , ,
FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,21
FITEM,2,91
SFBEAM,P51X,1,PRES,3.383*1.08, , , , ,

FLST,2,3,2,ORDE,3
FITEM,2,20
FITEM,2,90
FITEM,2,92
SFBEAM,P51X,1,PRES,0.799*1.08, , , , ,

FLST,2,3,2,ORDE,3
FITEM,2,19
FITEM,2,88
FITEM,2,-89
SFBEAM,P51X,1,PRES,2.886*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,18
FITEM,2,87
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.37*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,17
FITEM,2,112
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.111*1.08, , , , ,

FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,16
FITEM,2,109
FITEM,2,-111
SFBEAM,P51X,1,PRES,2.777*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,15
FITEM,2,108
SFBEAM,P51X,1,PRES,0.676*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,14
FITEM,2,107
SFBEAM,P51X,1,PRES,2.619*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,13
FITEM,2,106
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.381*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,12
FITEM,2,99
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.321*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,11
FITEM,2,100
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.533*1.08, , , , ,

FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,10
FITEM,2,101
FITEM,2,-103
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.865*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,9
FITEM,2,104
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.943*1.08, , , , ,

FLST,2,2,2,ORDE,2

FITEM,2,8
FITEM,2,105
SFBEAM,P51X,1,PRES,0.540*1.08, , , , , ,

/COM,ENSEGUIDA SE ESTABLECEN LAS PROPIEDADES DE PLOTEO
/PBC,ALL,1
/USER,1
/FOC,1,6.96140445117,3.08069009836,2.88021144461
/PNUM,ELEM
/VIEW,1,0.204142396596,-0.911821894997,0.356239685769
/ANG,1,-34.4157151659
/DIST,1,7
/REPLOTT

/COM,INICIAREMOS EL ANALISIS
SAVE

ESEL,ALL,ALL
FINISH
/PREP7
EMODIF,ALL,REAL,1
FINISH
/SOLU
/COM

/COM,INICIA EL PROCESO DE ITERACION DEL NUMERO DE ESCENARIOS(NESC)

*DO,I,1,NESC,1

OUTRES,ALL,LAST

/COM,PROCEDEMOS A GRABAR Y A RESOLVER LOS SISTEMAS DE CARGA.

LSWRITE,I

SOLVE

FINISH

/POST1

/COM,A CONTINUACION SE TIENE LA VISTA DE LA RETICULA DEFORMADA DE CIMENTACIÓN.

PLDISP,0

PLDISP,1

/COM

/COM,PROCEDEMOS A EVALUAR EL ASENTAMIENTO DIFERENCIAL EN CADA ELEMENTO

/COM,EL RESULTADO ES EL VECTOR ADABS(I) DONDE I VARIA DE 1 HASTA ETOT

*DO,IT,1,ETOT,1

ESEL,S,,,IT

NSLE,R

*GET,NODOI,NODE,0,NUM,MIN

*GET,NODOJ,NODE,0,NUM,MAX

*GET,DESNI,NODE,NODOI,U,Z

*GET,DESNJ,NODE,NODOJ,U,Z

ASDIF=(DESNJ-DESNI)

ADABS(IT)=ABS(ASDIF)

ESEL,ALL,ALL

NSEL,ALL,ALL

*ENDDO

/COM

/COM,TRANSFORMAMOS EL VECTOR ADABS A UNA COLUMNA DE ETABLE CON EL

/COM,FIN DE ENCONTRAR EL MAXIMO ASENTAMIENTO DIFERENCIAL OCURRENTE

/COM EN UN ELEMENTO(MAX) Y EN DONDE OCURRE(IMAX). ESTE RESULTADO SE INDICA CON

/COM,LOS PARAMETROS ASDMAX Y ELADM

/COM

/COM,ETABLE TE DA LOS ASENTAMIENTOS,ESORT,LOS ORDENA,

/COM,Y *GET LOS PIDE Y DATOS LOS ACOMODA EN LA TABLA.

ETABLE,ADIF,VOLU,

*VPUT,ADABS,ELEM, ,ETAB,ADIF, , ,2

/COM,ESORT, ORDENA LOS ELEMENTOS.

ESORT,ETAB,ADIF,0

*GET,ASDMAX(I),SORT,0,MAX

*GET,ELADM(I),SORT,0,IMAX

*GET,LONGE(I),ELEM,NINT(ELADM(I)),LENG

/COM

DISANG(I)=LONGE(I)/ASDMAX(I)

/COM,AQUI DEBEMOS CHECAR QUE L/ASDMAX SEA MAYOR DE 300

/COM

/COM,TAMBIEN QUE ASDMAX SEA MENOR DE 30 MM

DATOS(I,1,1)=ASDMAX(I)

DATOS(I,2,1)=ELADM(I)

DATOS(I,3,1)=LONGE(I)

DATOS(I,4,1)=DISANG(I)

/COM

/COM,POR ULTIMO EVALUAMOS EL DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE LA RETICULA

/COM,Y EN QUE ELEMENTO OCURRE

/COM,HAY QUE CHECAR QUE DZMAX SEA MENOR DE 50 MM

/COM,ESORT, ORDENA LOS ELEMENTOS.

ETABLE,DZMAX,U,Z

ESORT,ETAB,DZMAX,0,1

*GET,DZMAX(I),SORT,0,MAX

*GET,NZMAX(I),SORT,0,IMAX

DATOS(I,5,1)=DZMAX(I)

DATOS(I,6,1)=NZMAX(I)

/COM DETERMINAMOS PUES EL VALOR DEL MOMENTO FLEXIONANTE EN Y, EN EL NODO I.

/COM,EL SIGUIENTE PARRAFO ENCUENTRA EL MOMENTO MAXIMO(T.M) Y EN QUE ELEMENTO OCURRE.

ETABLE,MYI,SMISC, 5

ESORT,ETAB,MYI,0,1

/COM, EL COMANDO ESORT, ORDENA LOS ELEMENTOS.

*GET,MYIM(I),SORT,0,MAX

*GET,EMYIM(I),SORT,0,IMAX

DATOS(I,7,1)=MYIM(I)

DATOS(I,8,1)=EMYIM(I)

/COM,EL SIGUIENTE PARRAFO ENCUENTRA EL CORTANTE MAXIMO(TON.) Y EN QUE ELEMENTO OCURRE.

ETABLE,VYIM,SMISC,3

/COM, EL COMANDO ESORT, ORDENA LOS ELEMENTOS.

ESORT,ETAB,VYIM,0,1

*GET,VYIM(I),SORT,0,MAX

*GET,EVYIM(I),SORT,0,IMAX

DATOS(I,9,1)=VYIM(I)

DATOS(I,10,1)=EVYIM(I)

/COM,EN ESTA PARTE SE OBTIENEN LOS ESFUERZOS DE CONTACTO DE LA CIMENTACION, CON LA

T/M2. /COM,FINALIDAD DE CHECAR LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO, qu(arcillas)=2.5 A 40

/POST1

/COM,HALLAMOS LAS PRESIONES(PCON1) DEL SUELO, EN EL 1 ESCENARIO, SOLO CON CM+CV.

*IF,I,EQ,1,THEN

ETABLE,DESZ1,U,Z

```

SMULT,PCON1,DESZ1,,(-1*RIGS/B),1,
SMULT,PRA1,PCON1,,2,1,

    ESORT,ETAB,PCON1,0,1
    *GET,PCON1(I),SORT,0,MAX
    *GET,EPCON1(I),SORT,0,IMAX
    DATOS(I,11,1)=PCON1(I)
    DATOS(I,12,1)=EPCON1(I)
*ELSE

    /COM,HALLAMOS LAS PRESIONES(ECON) DEL SUELO, EN 2do. HASTA NESC ESCENARIO,
/COM,SOLO CON CM+CV+PEXP
ETABLE,DESZ,U,Z
SMULT,PCON,DESZ, ,(-1*RIGS/B),1,
SADD,ECON,PRA1,PCON,1,-1,,

    ESORT,ETAB,ECON,0,1
    *GET,ECON(I),SORT,0,MAX
    *GET,EECON(I),SORT,0,IMAX
    DATOS(I,11,1)=ECON(I)
    DATOS(I,12,1)=EECON(I)
*ENDIF

/COM
/COM,CON EL FIN DE AGRUPAR LA INFORMACION OBTENIDA CONSTRUIMOS UN ARREGLO
/COM,CON TODOS LOS DATOS.SU NOMBRE DATOS( , ).

/COM,LAS INSTRUCCIONES SIGUIENTES BORRAN LAS CARGAS APLICADAS (ENTRE ELLAS
/COM,LAS PRESIONES ALEATORIAS) Y RENUEVAN LA INFORMACION APLICANDO LAS
/COM,CARGAS MUERTAS Y CONDICIONES INICIALES.TODO ELLO A EXCEPCION DEL
/COM,,PRIMER CICLO DEBIDO A QUE AUN NO SE GENERAN NINGUNOS ELEMENTOS
/COM,ALEATORIOS,NI CARGAS ADICIONALES.
/COM
*IF,I,GE,2,THEN
    FINISH
/SOLU
    LSCLEAR,ALL
    LSREAD,1
    FINISH
/POST1
*ELSE
*ENDIF

/COM
/COM,LA INSTRUCCION QUE SIGUE PRETENDE RESTRINGIR EL HECHO DE QUE AL LLEGAR
/COM,I AL VALOR MAXIMO DE NESC,LA GENERACION DE NUEVOS ELEMENTOS ALEATORIOS
/COM,Y SUS CONDICIONES NO TIENEN YA SENTIDO DADO QUE FINALIZA YA EL CICLO.
/COM, SUS COMPONENTES ELSE Y ENDIF SE LOCALIZAN AL FINAL DEL CICLO I-ENDDO.
/COM
*IF,I,NE,(NESC),THEN
    /COM
    /COM,A PARTIR DE AQUI SE GENERAN ELEMENTOS ALEATORIOS (CICLO 2; I=2)
    FINISH
/SOLU
/COM
/COM,SE GENERAN LOS ELEMENTOS ALEATORIOS
/COM
*DO,K,1,NEA,1
    EA(K,I)=NINT(RAND(1,ETOT))
*ENDDO
/COM
/COM,CHECAMOS QUE NO SE REPITAN ENTRE ELLOS

```

```

/COM
*IF,NEA,NE,1,THEN
  REA=NEA
  RJ=0
*DO,KJ,1,(NEA-1),1
  *DO,J,2,REA,1
  *IF,EA(1+RJ,I),EQ,EA(J+KJ-1,I),THEN
    EA(J+KJ-1,I)=NINT(RAND(1,ETOT))
    J=J-1
  *ELSE
  *ENDIF
*ENDDO
  RJ=RJ+1
  REA=REA-1
*ENDDO
*ELSE
*ENDIF
/COM
/COM,YA QUE SE HAN GENERADO SE LES SELECCIONA EN LA RETICULA
/COM,PARA IMPONER LAS CONDICIONES DE PRESIONES NEGATIVAS(EXPANSION)

```

```

ESEL,S,ELEM,,EA(1,I)
*DO,M,2,NEA,1
  ESEL,A,ELEM,,EA(M,I)
*ENDDO

```

```

/COM,PROCEDEMOS A INDICAR LAS CONDICIONES PARA LOS ELEMENTOS
/COM,ALEATORIOS.

```

```

  SFCUM,PRES,ADD
  SFBEAM,ALL,1,PRES,PNEG*(-1)*B
  EPLOT
  /PNUM,ELEM,1
  /COM
  ESEL,ALL,ALL
*ELSE
*ENDIF
*IF,CICLO,EQ,1,THEN
  /TITLE,PRESIONES DE CONTACTO(T/M2).Wm+Wv.
  PLETAB,PCON1,NOAV
*ELSE
*ENDIF
*ENDDO

```

```

/COM,PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2).Wm+Wv+PEXP
PLETAB,ECON,NOAV

```

```

/COM,EL CICLO ANTERIOR SE REPITE PARA I=1 HASTA NESC.

```

10.2 M A C R O No.2

Este segundo macro corresponde al análisis de la cimentación reticular bajo un estado de **cargas muertas + cargas vivas máximas**.

Este segundo macro, en comparación al primero, sólo tiene la variante en cuanto a la combinación de cargas (cargas muertas + cargas vivas máximas), por la situación que explicamos en la 2da. etapa, "Bajada de Cargas", página 85, en la nota no.1. El emplear factores de 1.08 y 1.1, para las cargas de servicio establecidas en el macro no.1 y no.2, respectivamente. Pero por si hubiese dudas indicamos en seguida de manera sombreada cuales son las partes repetitivas del macro que se afectaron por el factor. Con la facilidad de comparar ambas partes afectadas de los macros; en el macro no1.

Por lo anterior, no presentamos el macro no.2 completo, debido a que es en esencia lo mismo que el macro no.1, además de evitar posibles confusiones.

/COM,SE APLICAN ENSEGUIDA LAS **CARGAS PUNTUALES** SOBRE LOS NODOS.

```
F,P51X,FZ,-.6311.1
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,5
!*
/GO
F,P51X,FZ,-1.851.1
FLST,2,1,1,ORDE,1
FITEM,2,34
!*
/GO
```

```
.
.
F,P51X,FZ,-2.0471.1
FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,1
FITEM,2,46
FITEM,2,-48
```

/COM,SE APLICAN ENSEGUIDA LAS **CARGAS DISTRIBUIDAS** SOBRE LOS ELEMENTOS.

```
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.6781.1, , , , ,
FLST,2,4,2,ORDE,3
FITEM,2,2
FITEM,2,49
FITEM,2,-51
SFBEAM,P51X,1,PRES,1.6361.1, , , , ,
FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,3
FITEM,2,52
.
.
FLST,2,2,2,ORDE,2
FITEM,2,8
FITEM,2,105
SFBEAM,P51X,1,PRES,0.5401.1, , , , ,
```

11A. ETAPA

11. CORRIDAS DEL PROGRAMA: RESULTADOS.

RESULTADOS: MACRO No.1

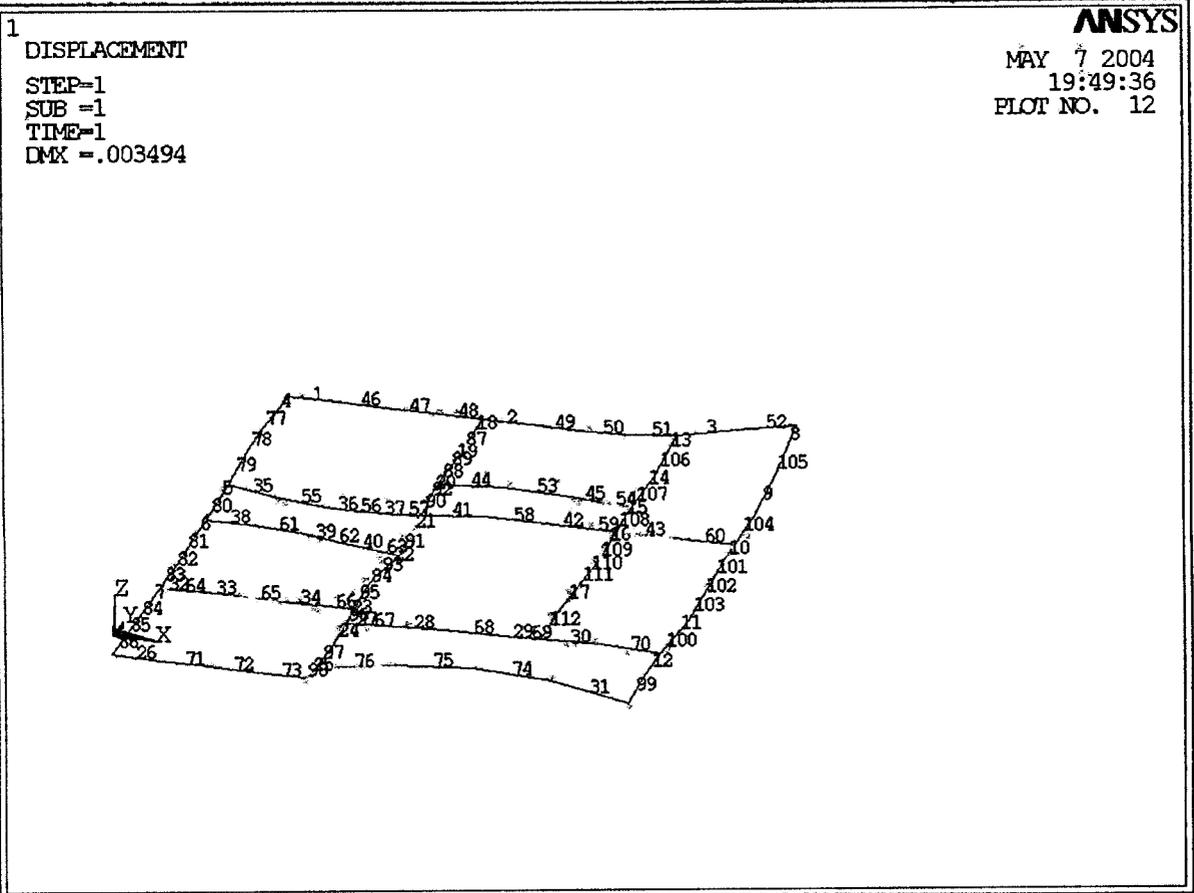
Los siguientes resultados corresponden al Análisis de la Cimentación Reticular bajo una combinación de Cargas de Servicio(CS) igual a:

$$\text{CS} = \text{CMuerta} + \text{CViva}_{\text{promedio}}$$

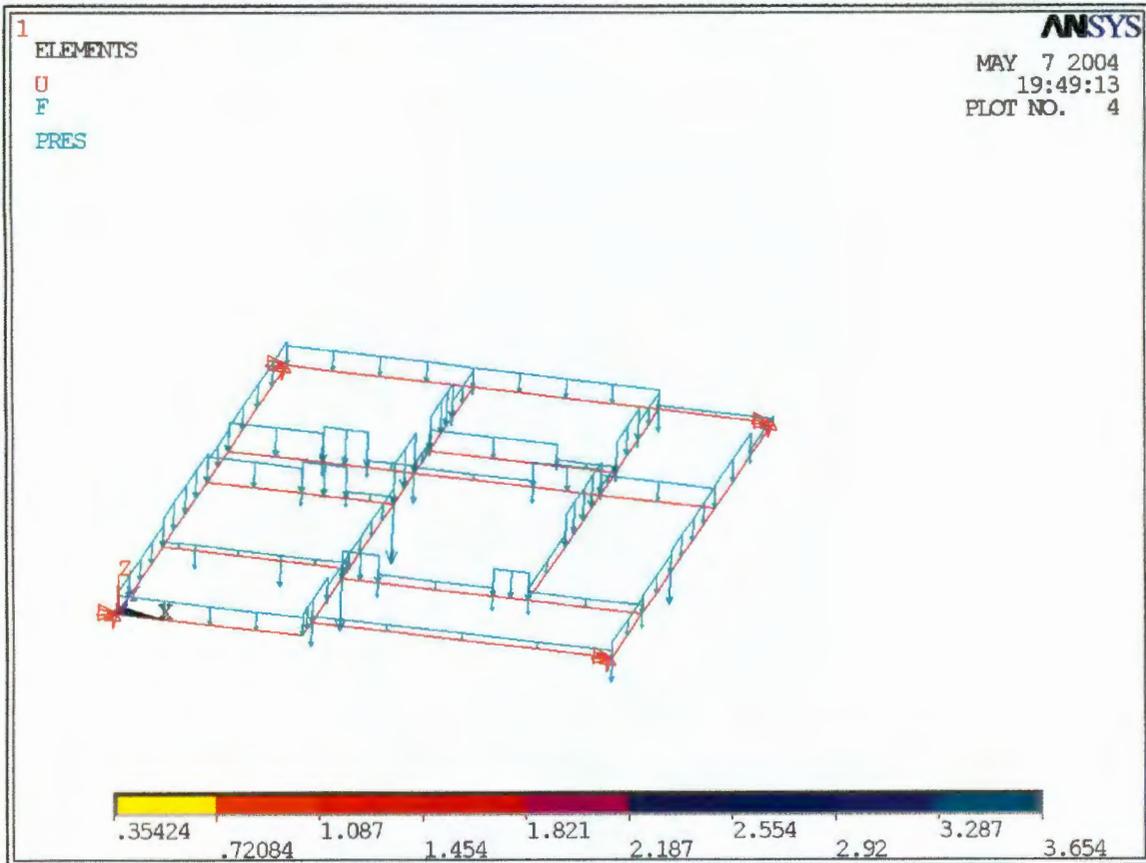
Recordando que con ésta combinación, según RCDF, sólo debemos obtener:

- 1) Asentamientos Diferenciales.**
- 2) Desplazamientos en dirección "z".**
- 3) Distorsiones Angulares.**(sólo aparecen con valor numérico al final, concentrados en la Tabla de Resultados).

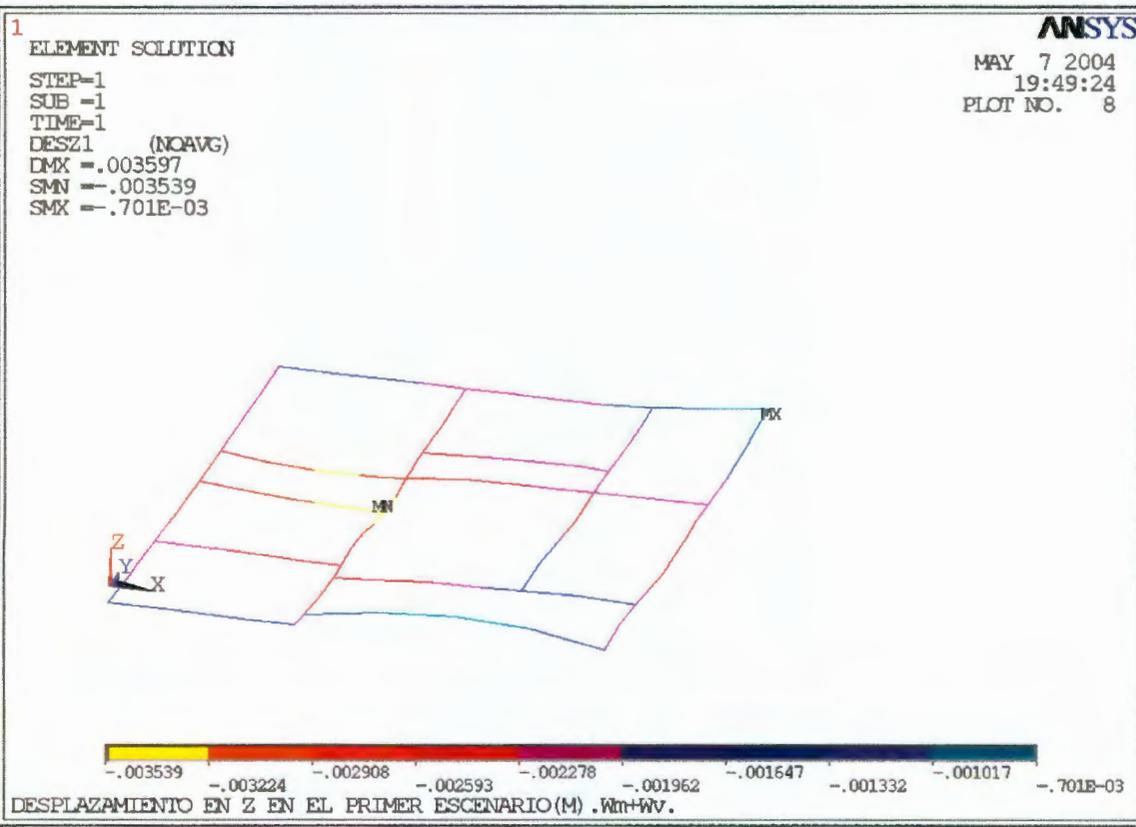
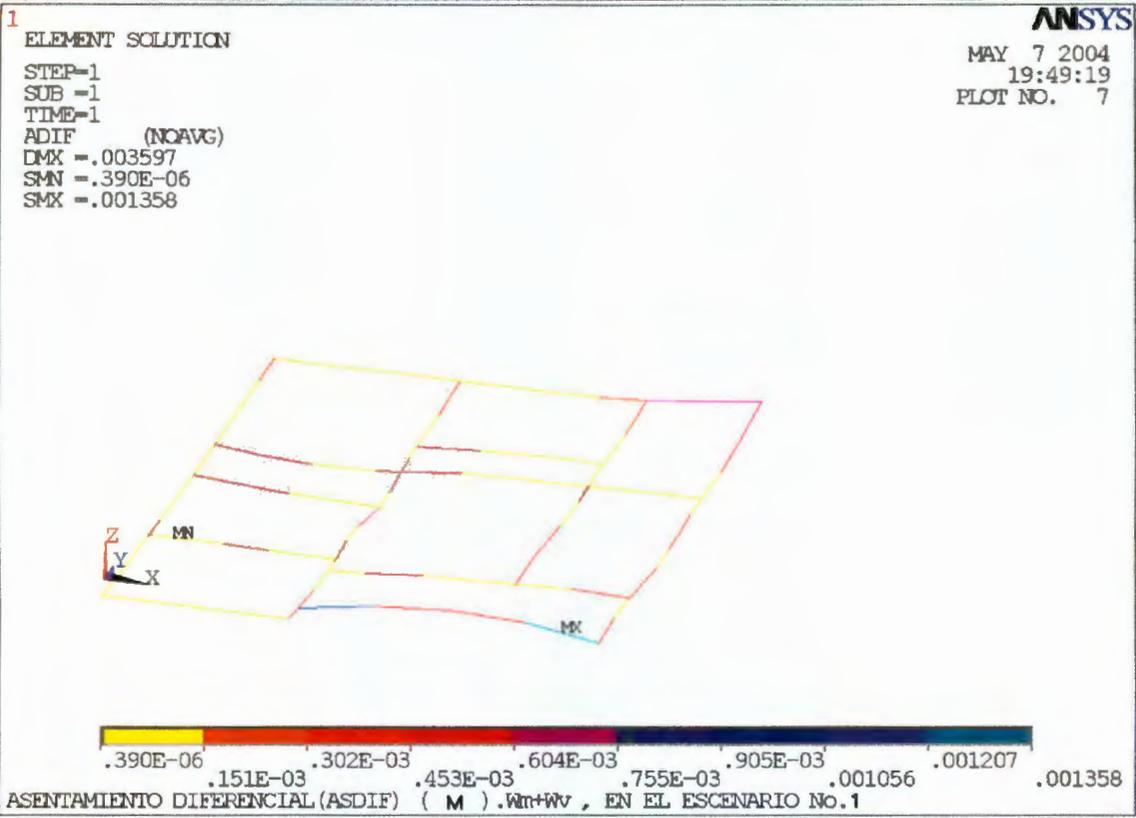
NUMERACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS EN LA RETÍCULA DE CIMENTACIÓN



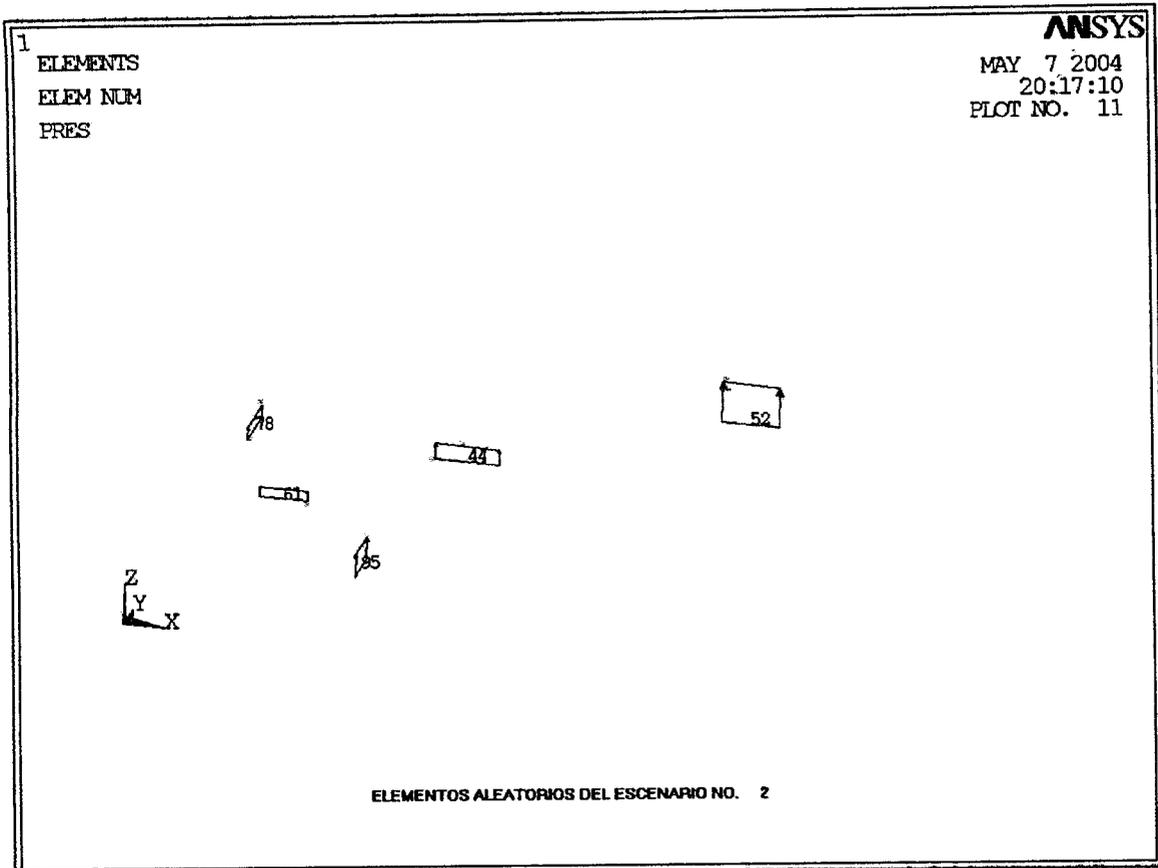
ESCENARIO NO. 1



En esta imagen pueden apreciarse la distribución de cargas(en toneladas) sobre la retícula de cimentación, así como la restricción de desplazamientos, en dirección x y y, en sus esquinas principales.

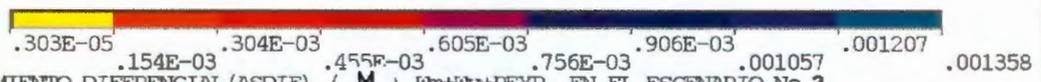
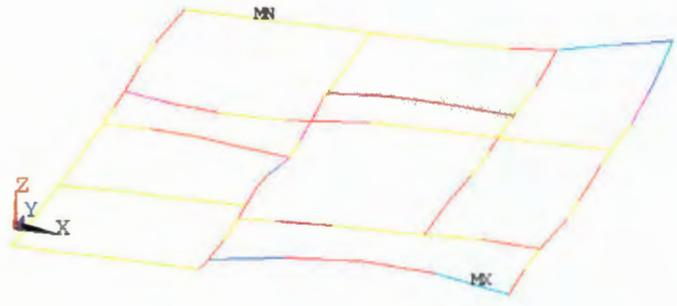


ESCENARIO NO. 2



1
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ADIF (NOAVG)
DMX =.003494
SMN =.303E-05
SMX =.001358

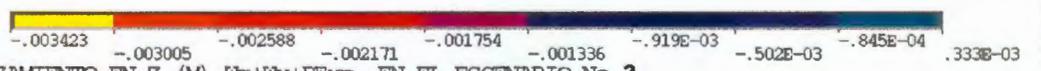
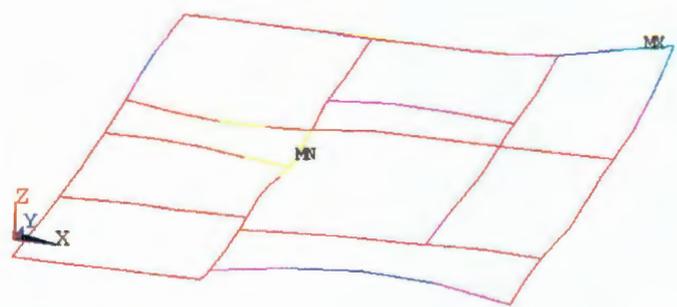
ANSYS
MAY 7 2004
19:49:36
PLOT NO. 14



ASENTAMIENTO DIFERENCIAL (ASDIF) (M) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.2

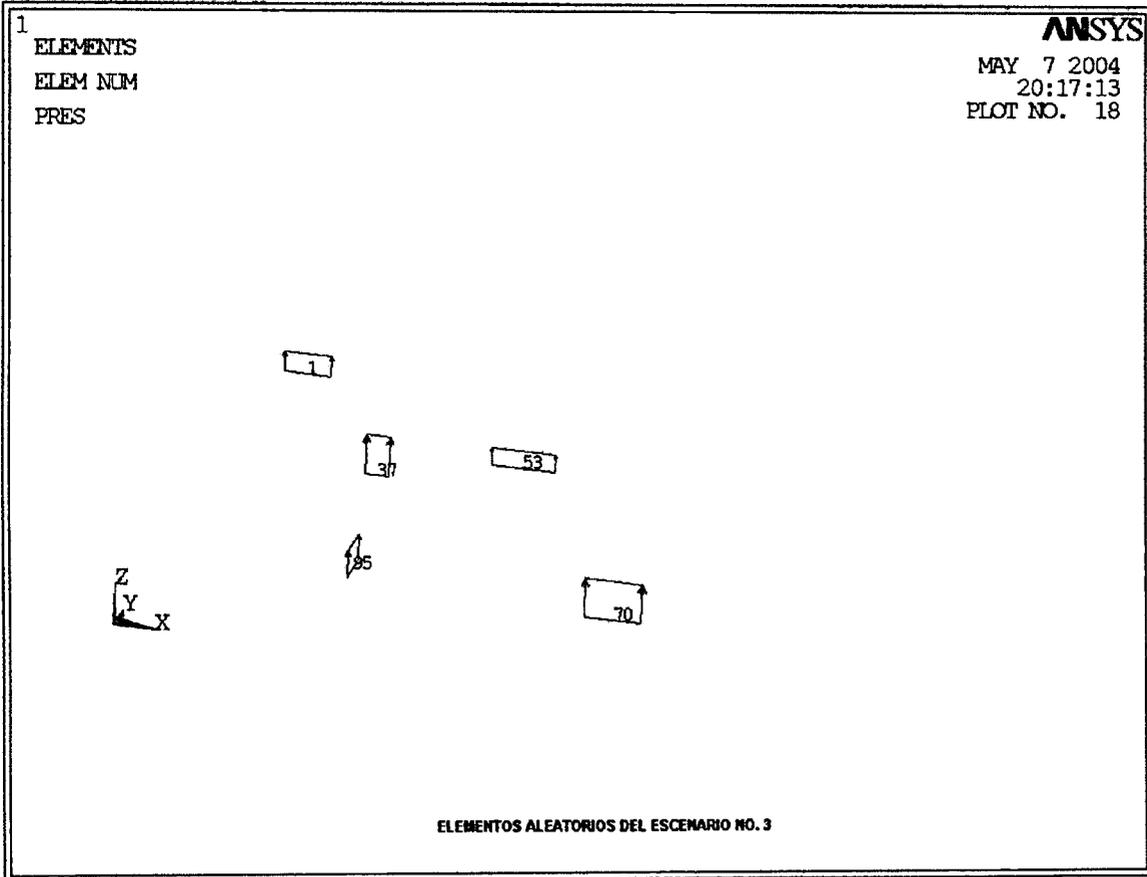
1
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
DESZ (NOAVG)
DMX =.003494
SMN =-.003423
SMX =.333E-03

ANSYS
MAY 7 2004
19:49:36
PLOT NO. 15

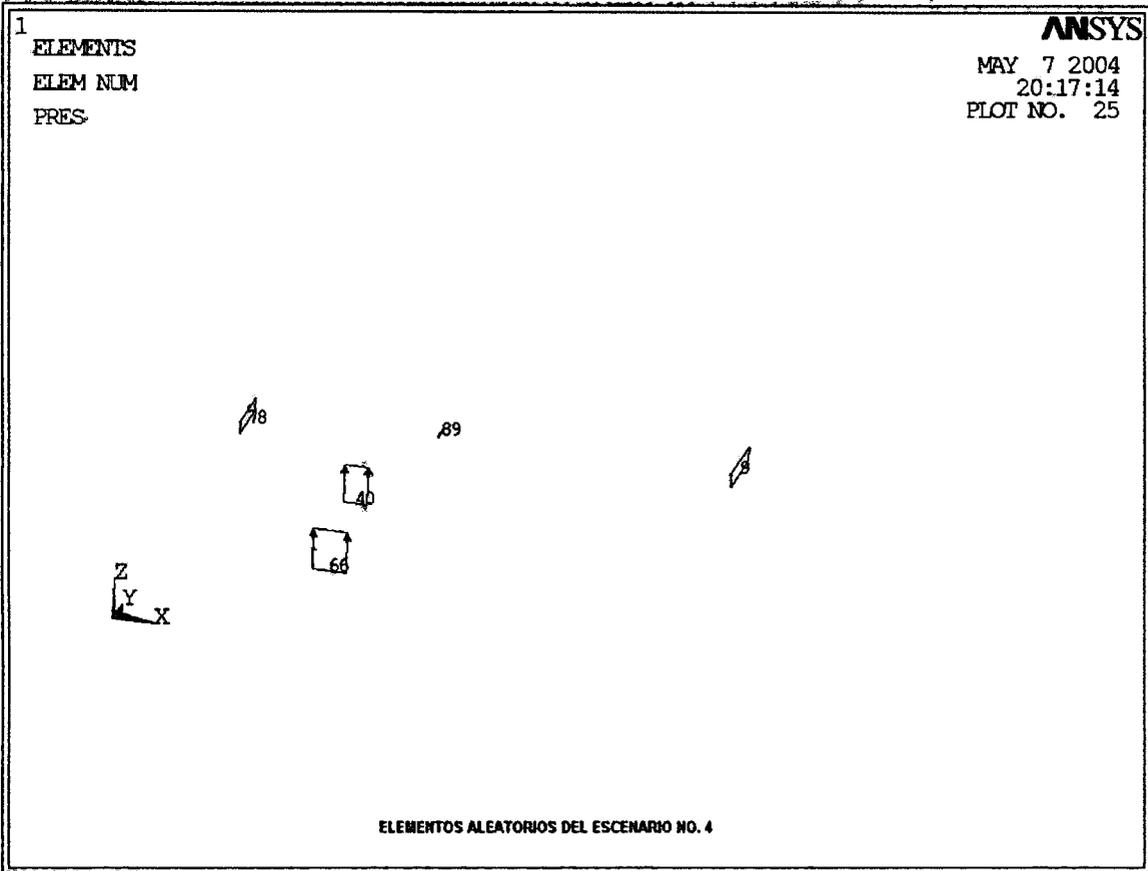


DESPLAZAMIENTO EN Z (M) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.2

ESCENARIO NO. 3



ESCENARIO NO. 4

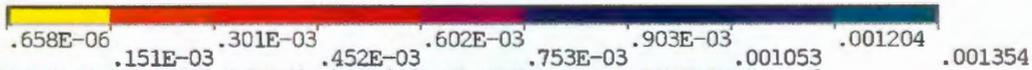
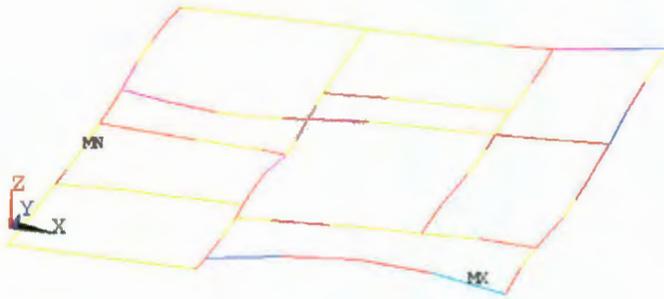


1 ELEMENT SOLUTION

ANSYS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
ADIF (NOAVG)
DMX =.003425
SMN =.658E-06
SMX =.001354

MAY 7 2004
19:49:39
PLOT NO. 28



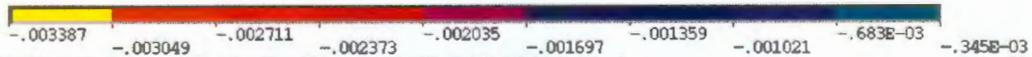
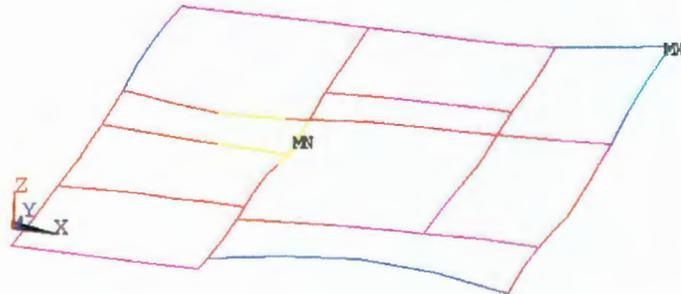
ASENTAMIENTO DIFERENCIAL (ASDIF) (M).Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.4

1 ELEMENT SOLUTION

ANSYS

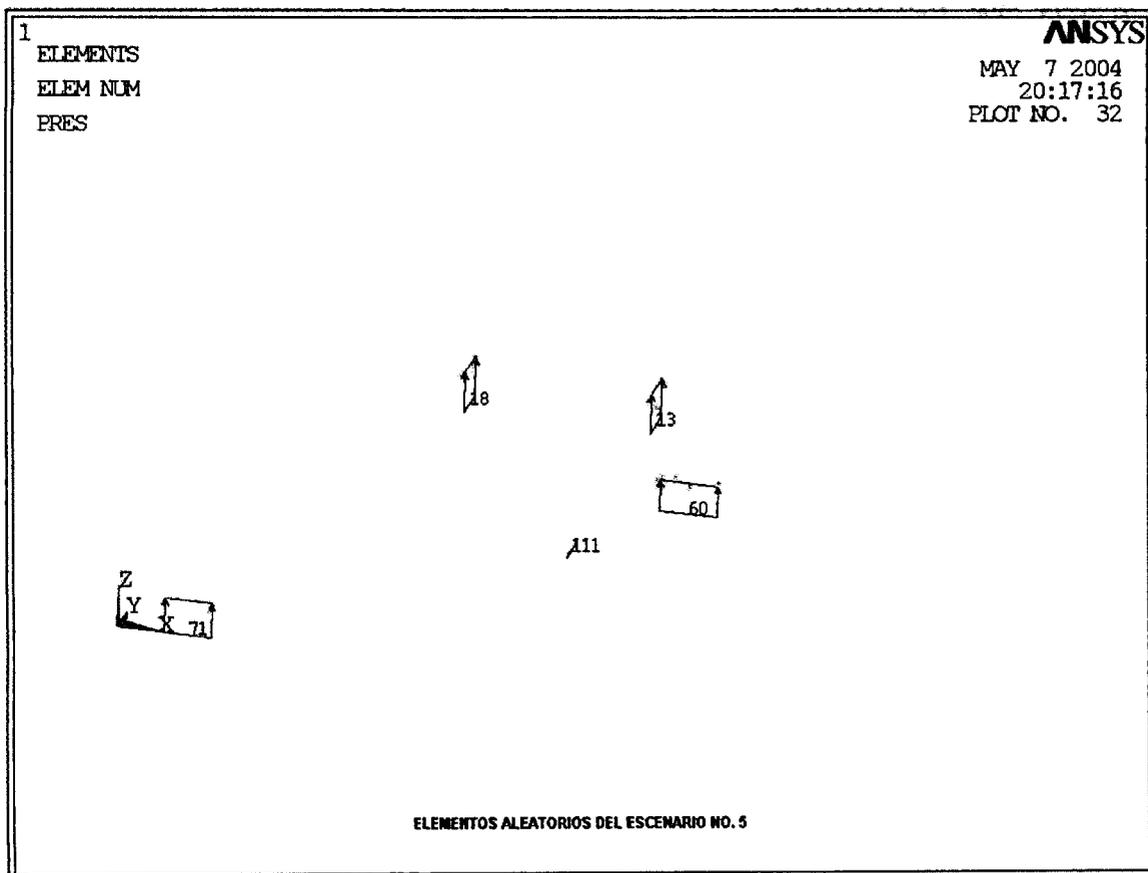
STEP=1
SUB =1
TIME=1
DESZ (NOAVG)
DMX =.003425
SMN =-.003387
SMX =-.345E-03

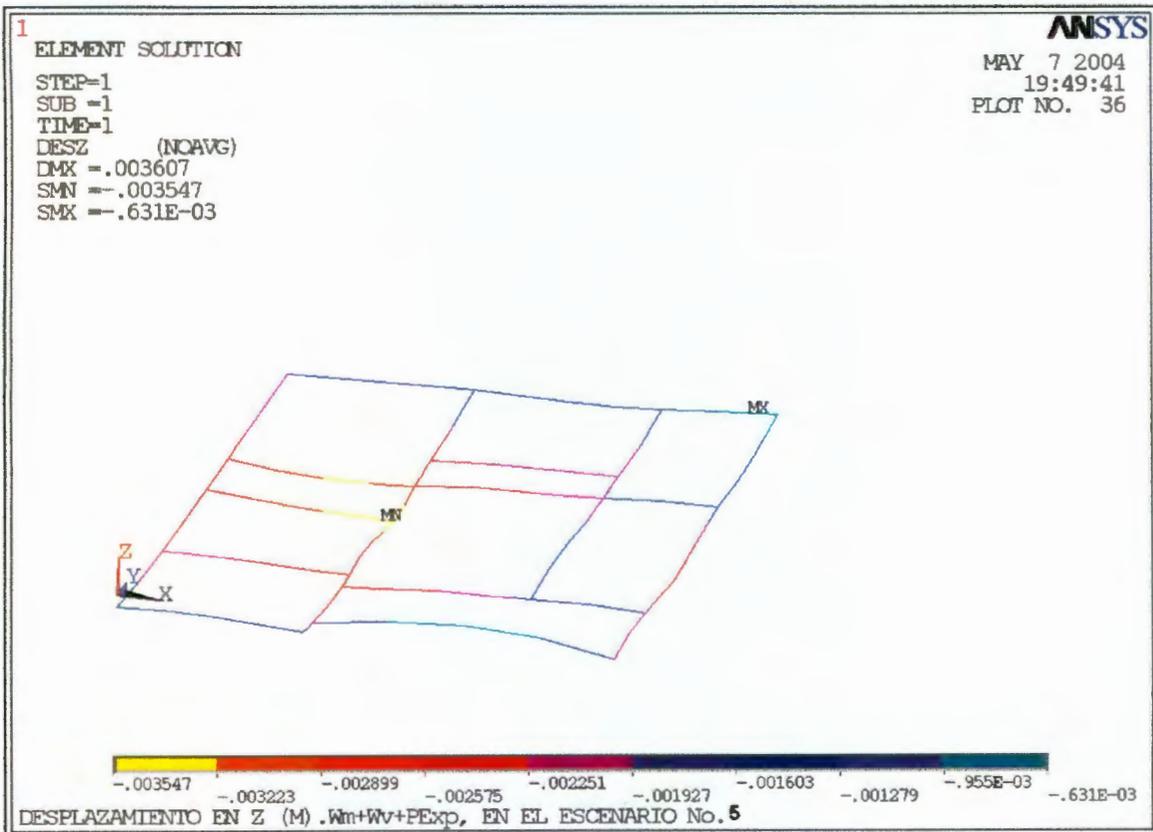
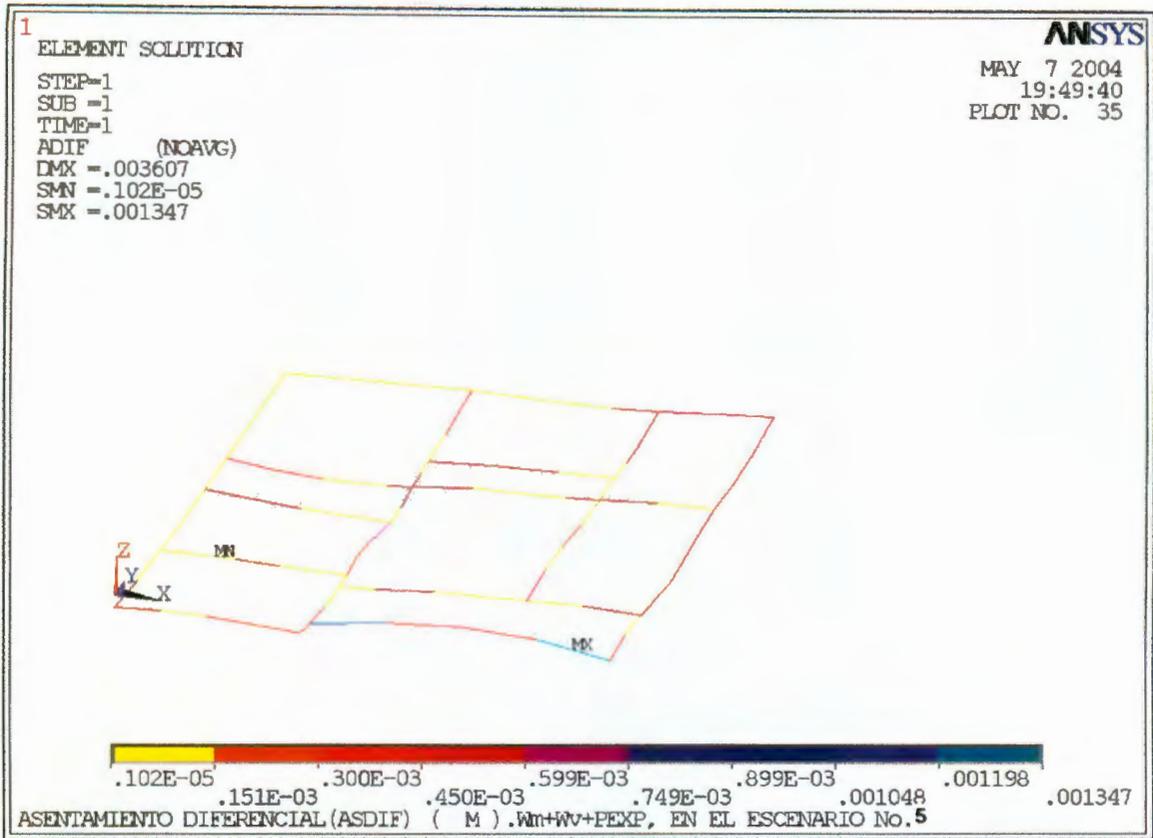
MAY 7 2004
19:49:39
PLOT NO. 29



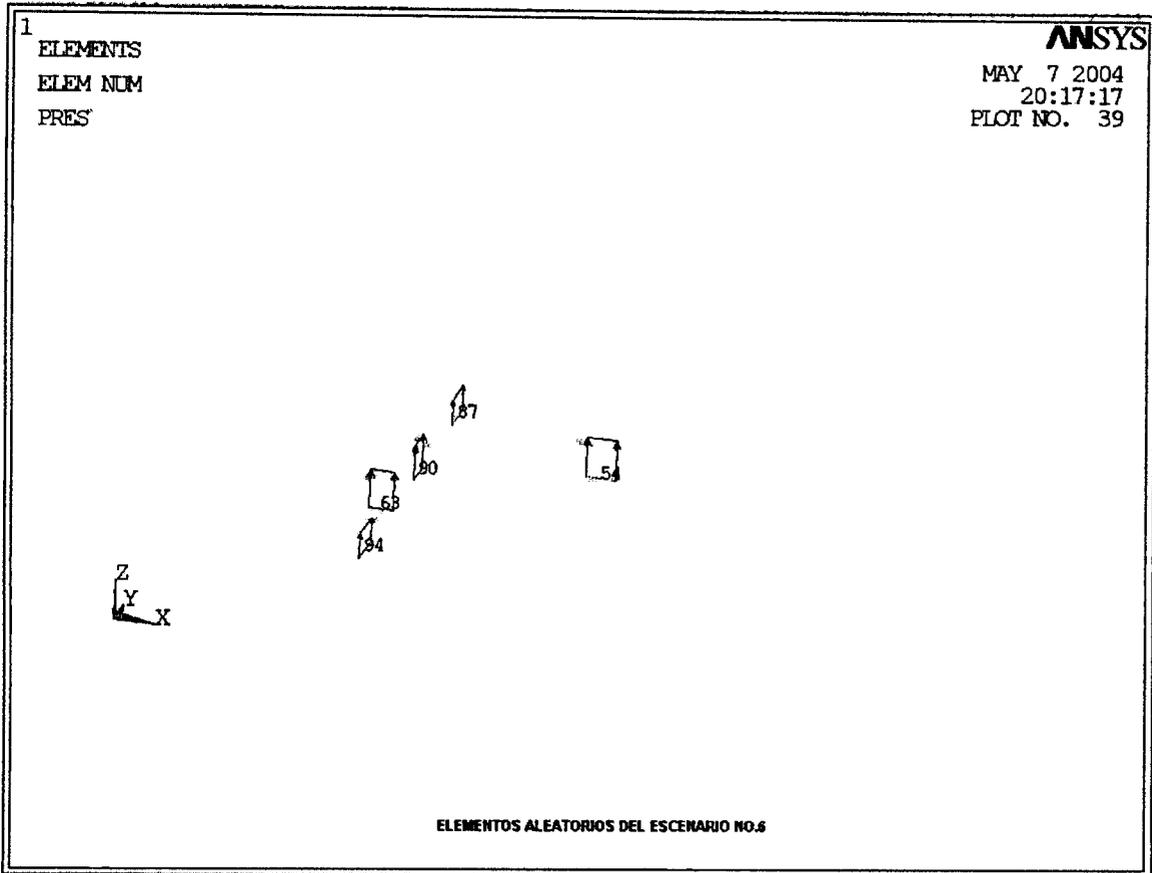
DESPLAZAMIENTO EN Z (M) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.4

ESCENARIO NO. 5





ESCENARIO NO. 6

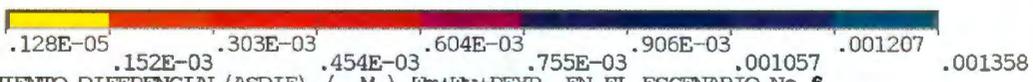
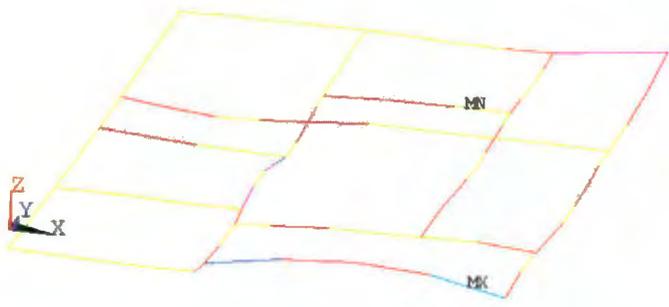


1 ELEMENT SOLUTION

ANSYS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
ADIF (NOAVG)
DMX =.00312
SMN =.128E-05
SMX =.001358

MAY 7 2004
19:49:42
PLOT NO. 42



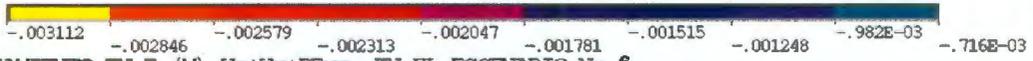
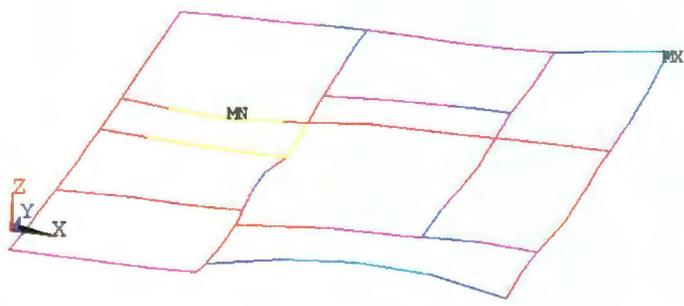
ASENTAMIENTO DIFERENCIAL (ASDIF) (M).Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.6

1 ELEMENT SOLUTION

ANSYS

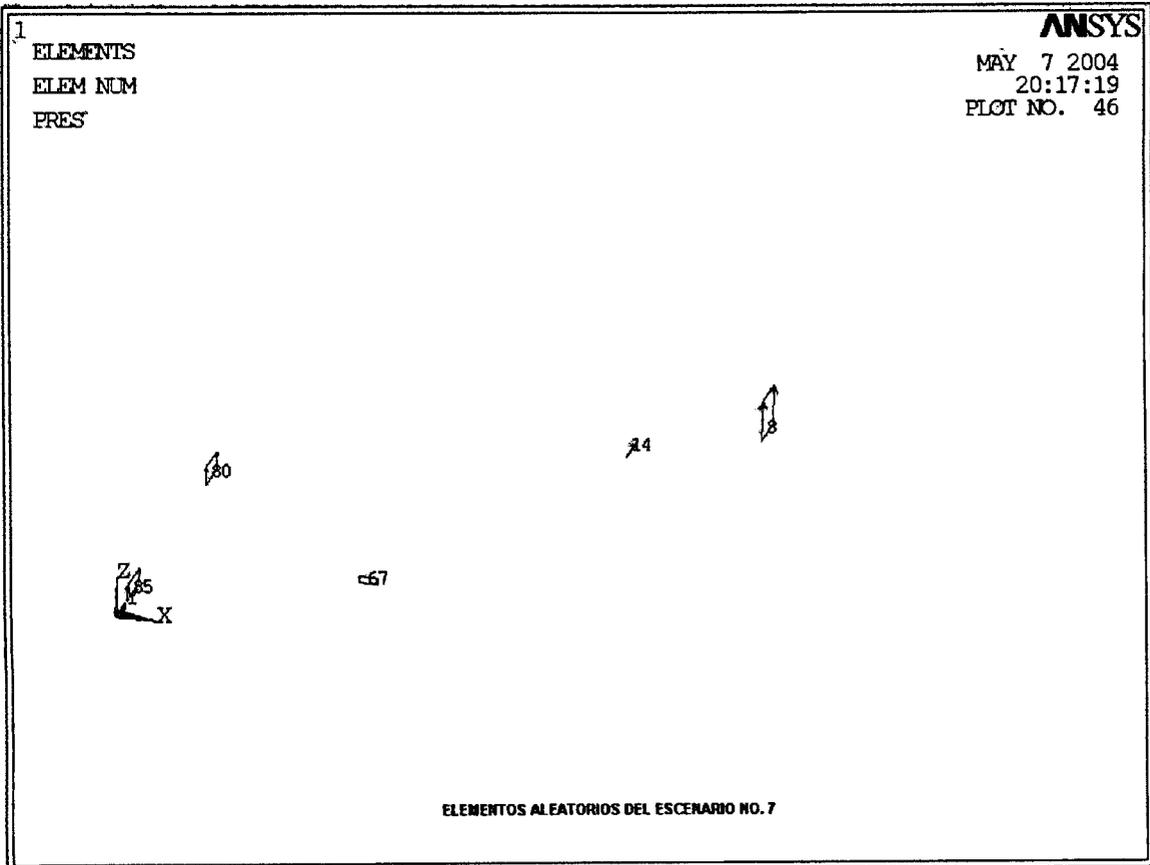
STEP=1
SUB =1
TIME=1
DESZ (NOAVG)
DMX =.00312
SMN =-.003112
SMX =-.716E-03

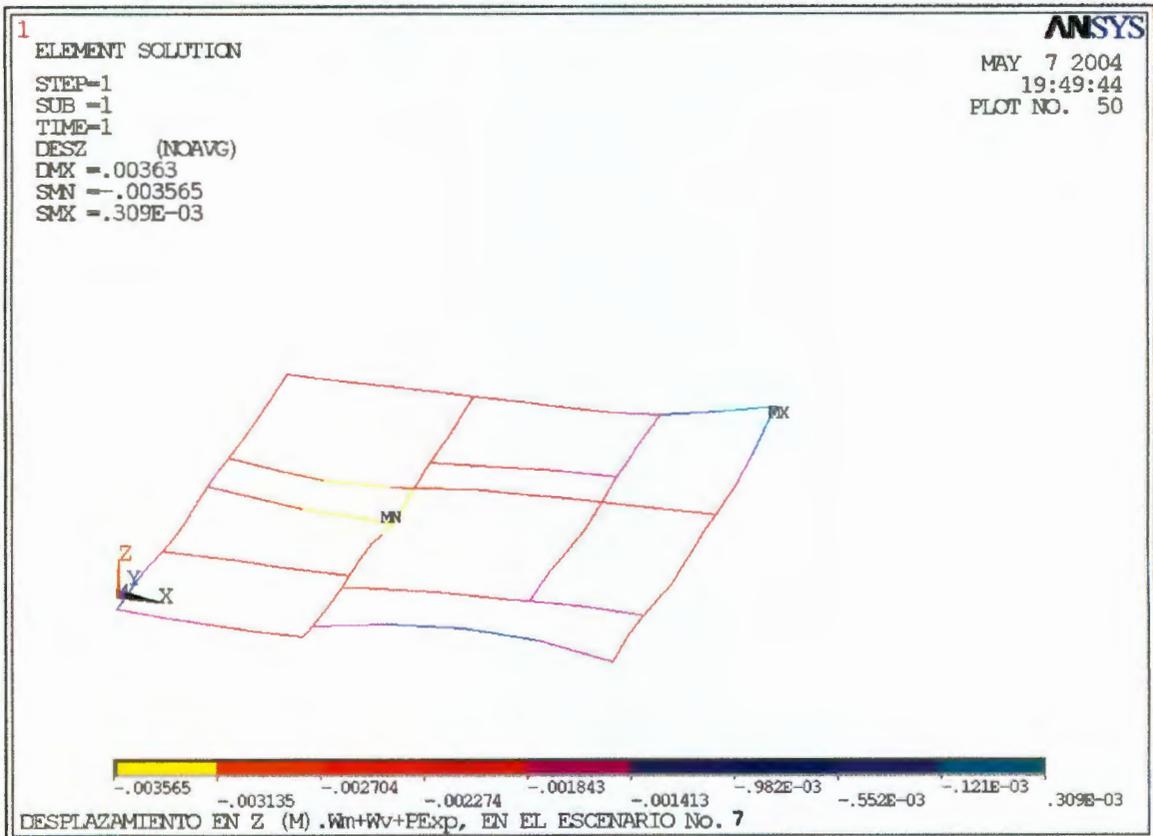
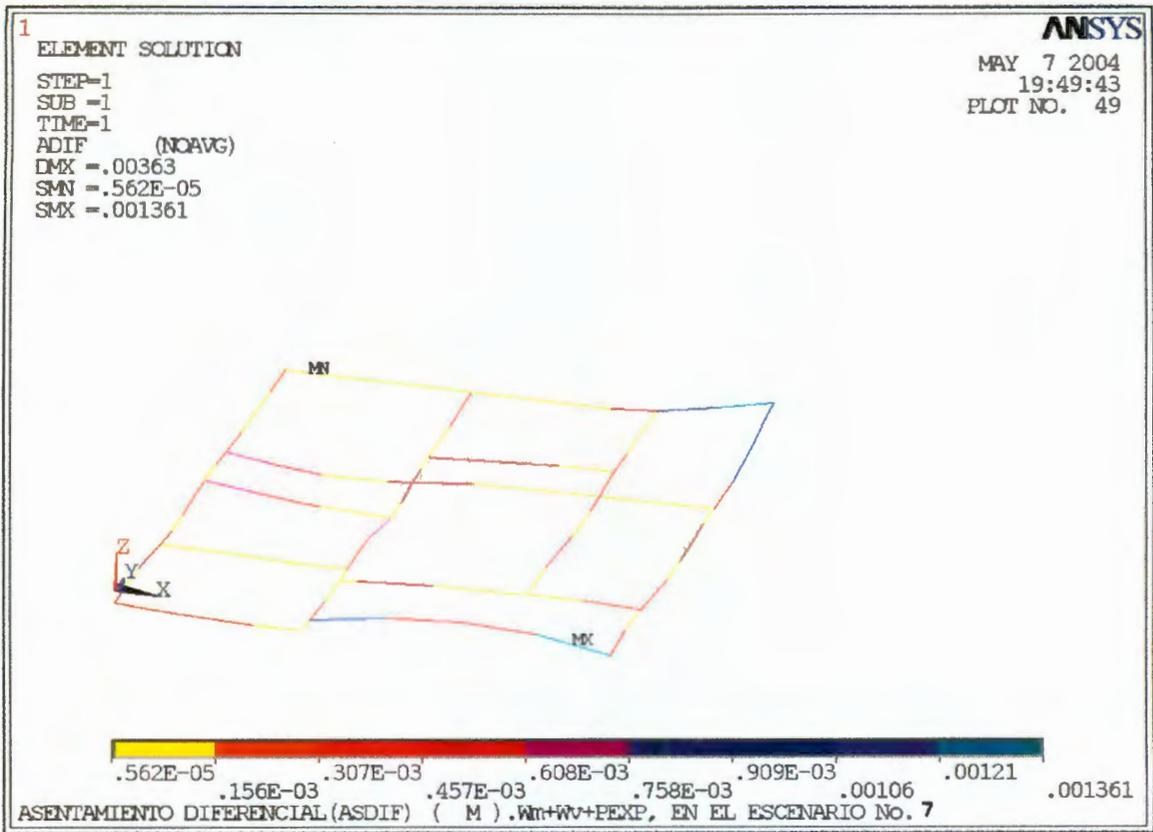
MAY 7 2004
19:49:42
PLOT NO. 43



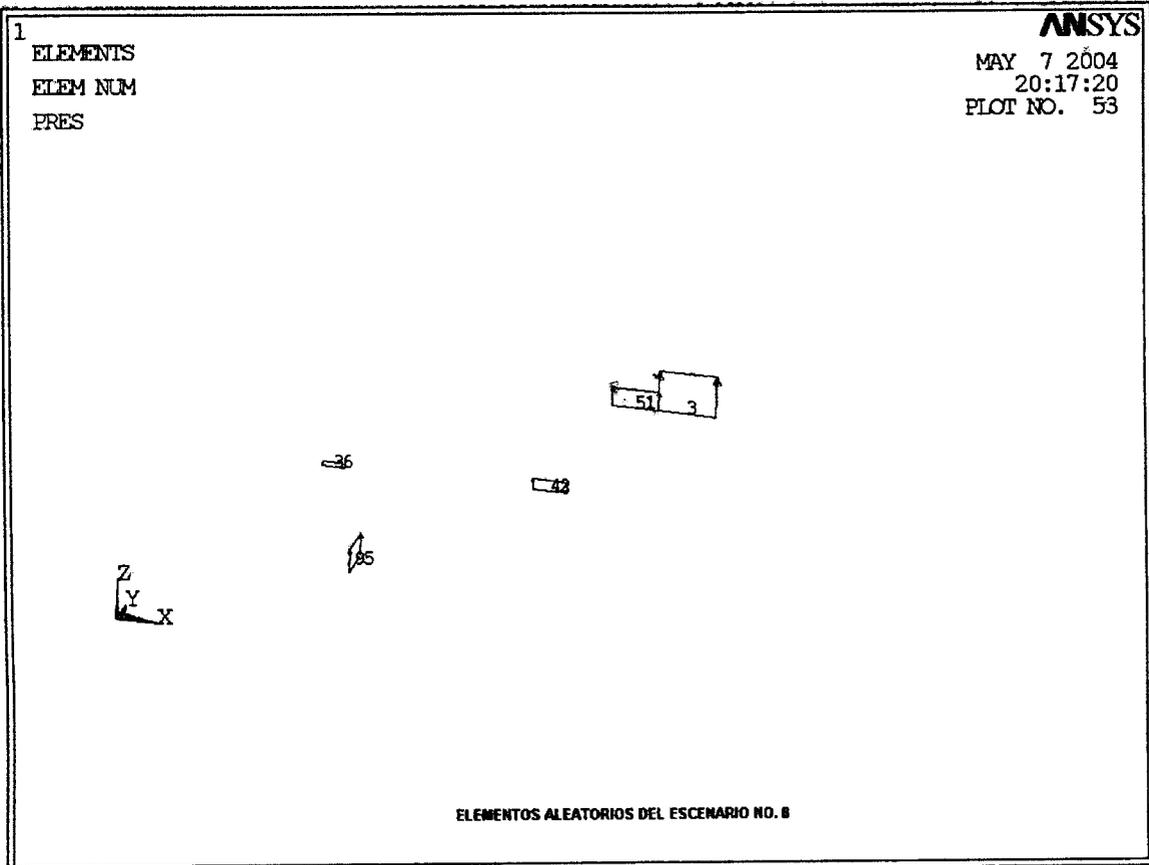
DESPLAZAMIENTO EN Z (M) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.6

ESCENARIO NO. 7



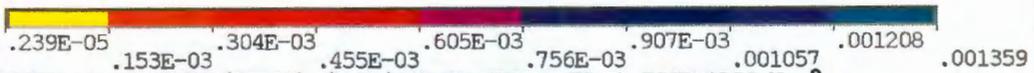
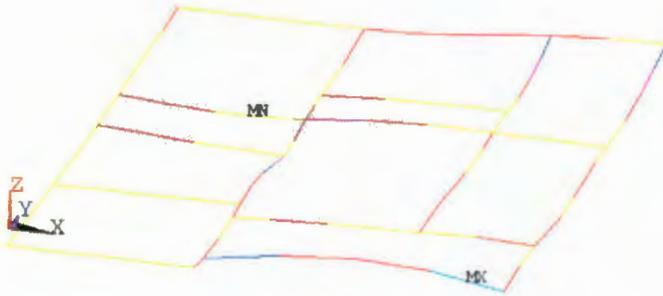


ESCENARIO NO. 8



1
 ELEMENT SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 ADIF (NOAVG)
 DMX =.003491
 SMN =.239E-05
 SMX =.001359

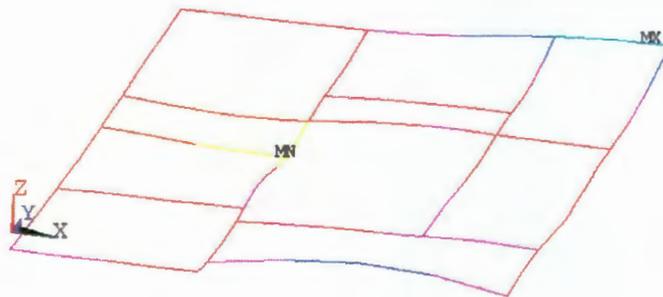
ANSYS
 MAY 7 2004
 19:49:45
 PLOT NO. 56



ASENTAMIENTO DIFERENCIAL (ASDIF) (M).Wn+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No. 8

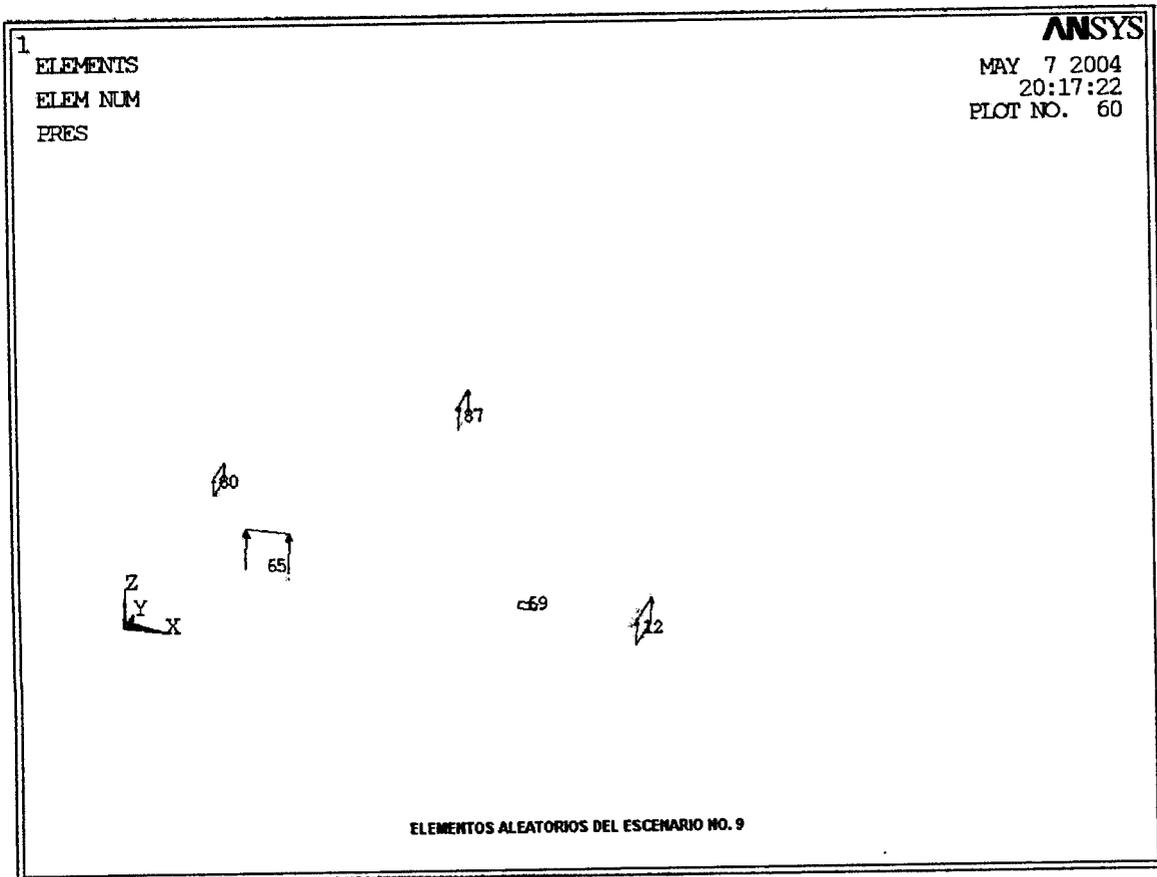
1
 ELEMENT SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 DESZ (NOAVG)
 DMX =.003491
 SMN =.003444
 SMX =.252E-05

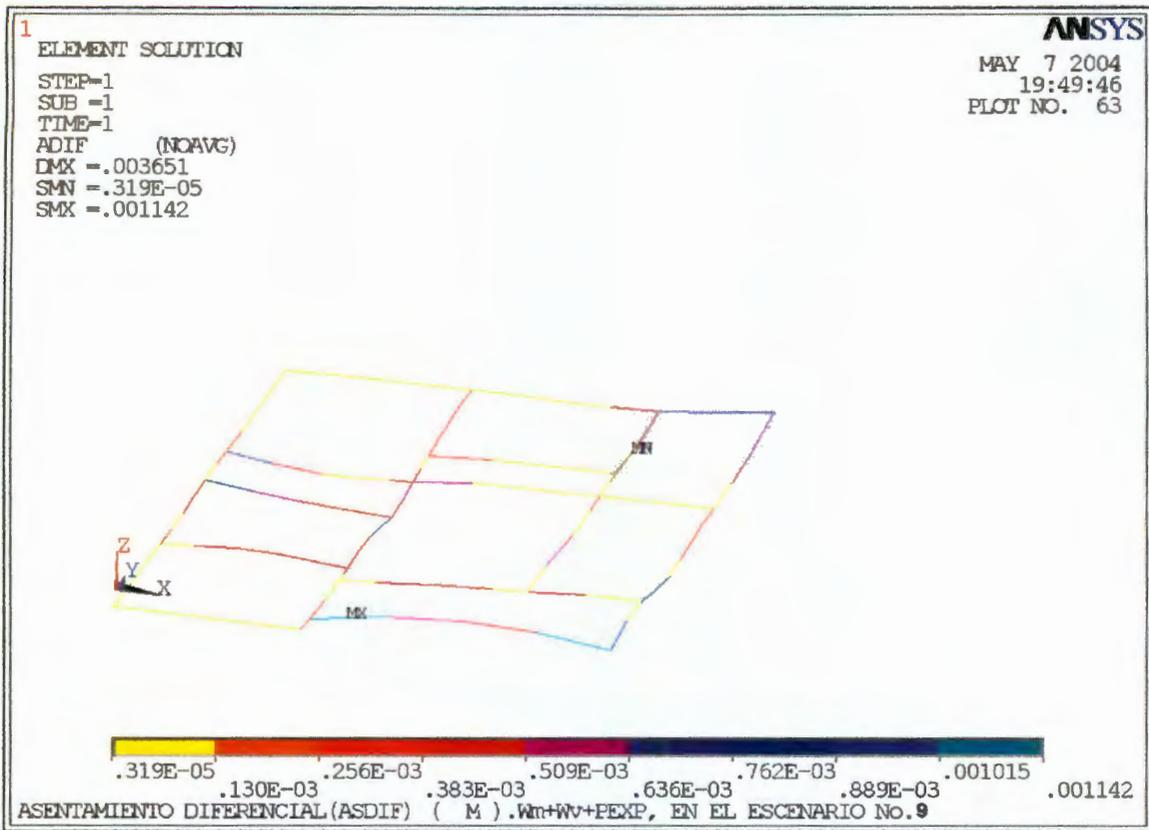
ANSYS
 MAY 7 2004
 19:49:45
 PLOT NO. 57



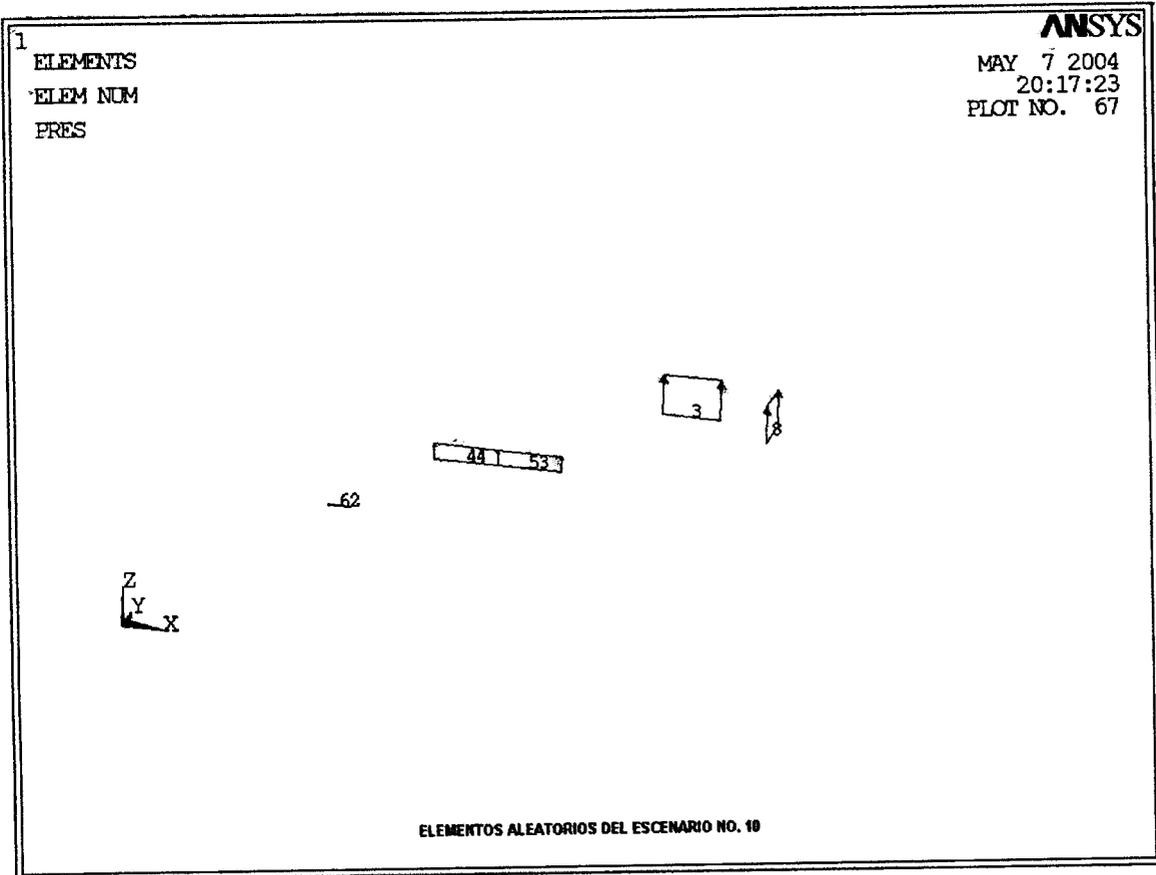
DESPLAZAMIENTO EN Z (M) .Wn+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No. 8

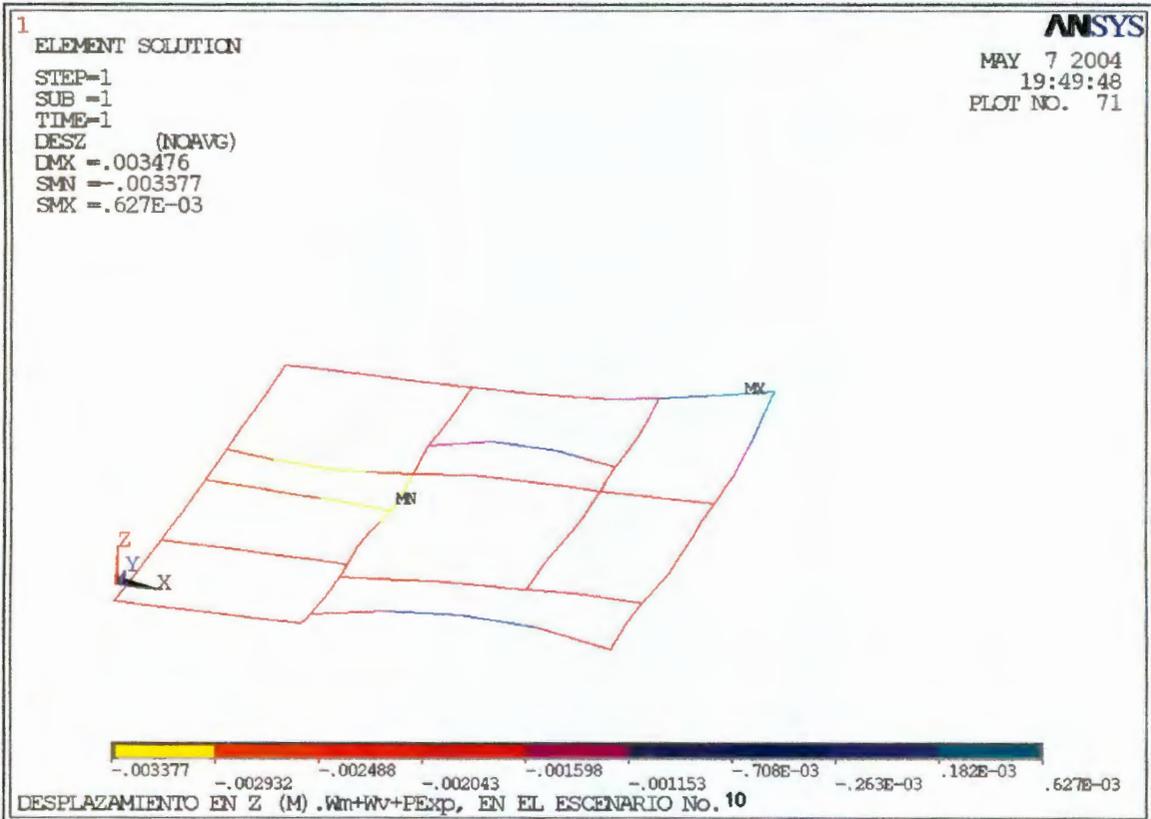
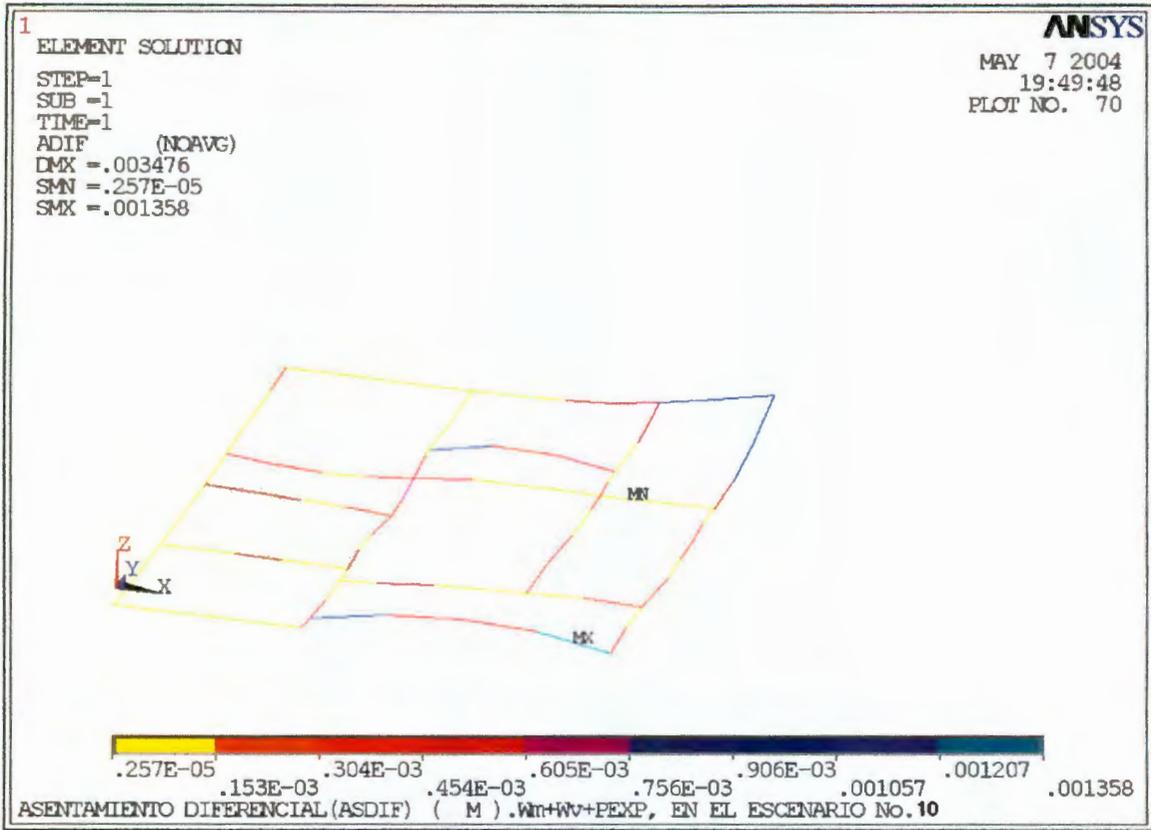
ESCENARIO NO. 9





ESCENARIO NO. 10





Resumiendo todos los elementos finitos aleatorios, elegidos 5 por cada uno de los 9 Escenarios*, tenemos los números de los elementos, en la tabla siguiente:

Tabla 3.2 Elementos Aleatorios.

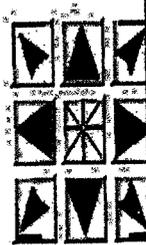
Array Parameter EA

File Edit Help

Page Increment View Plane

Initial Constant

Selected: NONE



	1*	2	3	4	5	6	7	8	9
1	95	70	89	13	87	14	42	69	44
2	52	95	66	60	63	85	3	87	8
3	44	1	78	111	54	80	51	80	3
4	78	53	9	71	90	67	95	12	53
5	61	37	40	18	94	8	36	65	62

*Realmente son 10 escenarios, teniendo en cuenta que en el primer escenario, sólo analizamos con cargas de servicio sin la actuación de la presión de expansión aleatoria y por tanto, no hay elementos aleatorios en el primer escenario.

RESULTADOS: MACRO No.2

Los siguientes resultados corresponden al Análisis de la Cimentación Reticular bajo una combinación de Cargas de Servicio(CS) igual a:

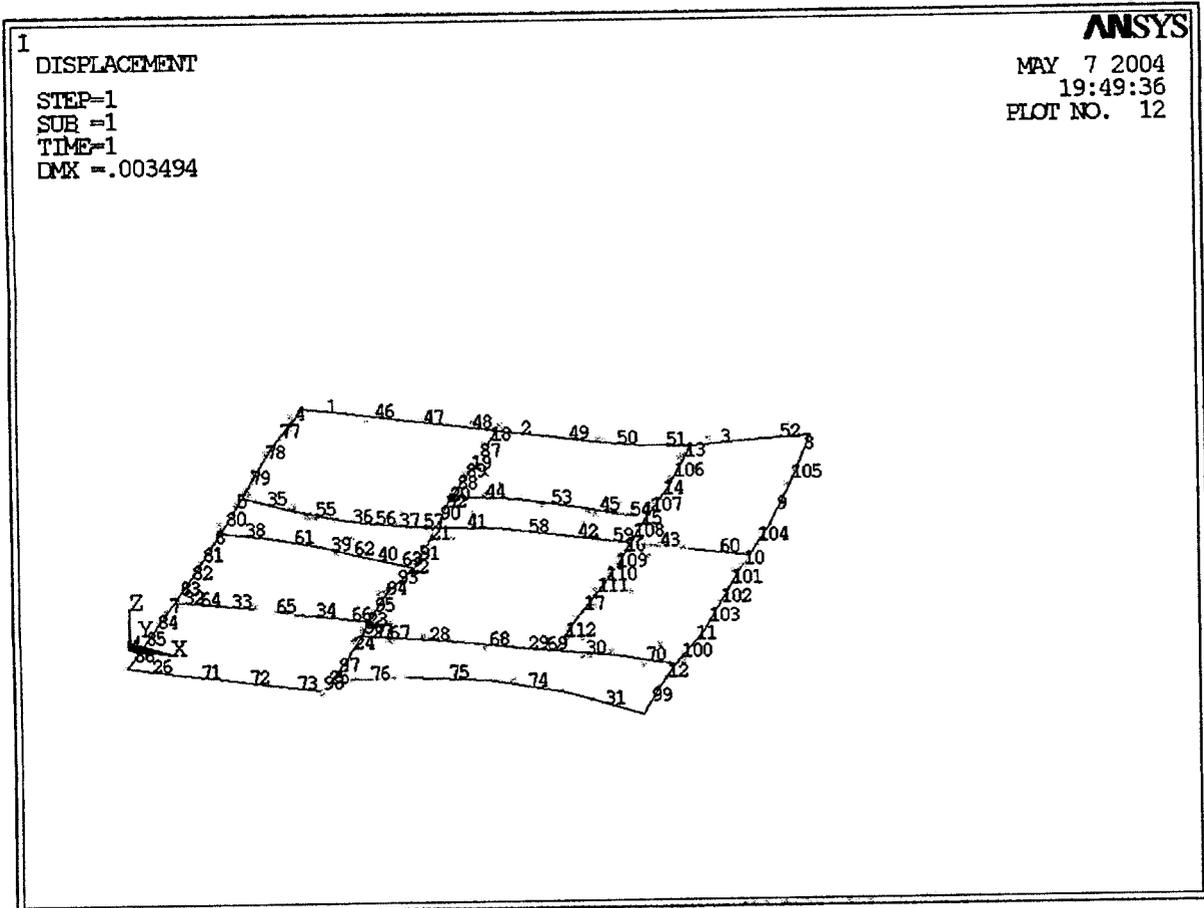
$$CS = CMuerta + CViva_{Máxima}$$

Recordando que con ésta combinación, según RCDF, sólo debemos obtener;

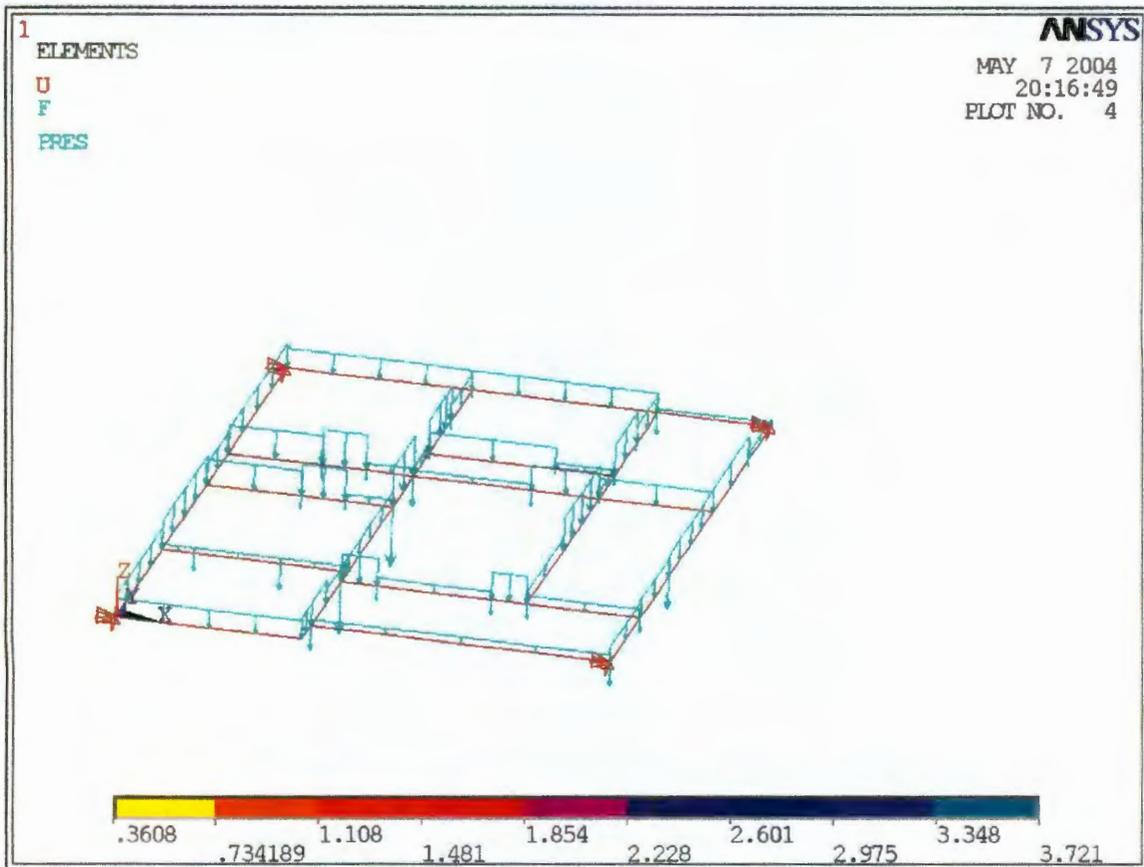
- 1) Momentos Flexionantes.**
- 2) Esfuerzo Cortante.**
- 3) Presiones de Contacto.**

Todos ellos para un Diseño Estructural de la Cimentación, bajo cargas gravitatorias.

NUMERACIÓN DE ELEMENTOS FINITOS EN LA RETÍCULA DE CIMENTACIÓN



ESCENARIO NO. 1

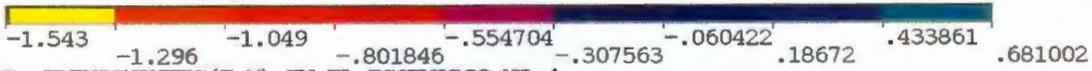
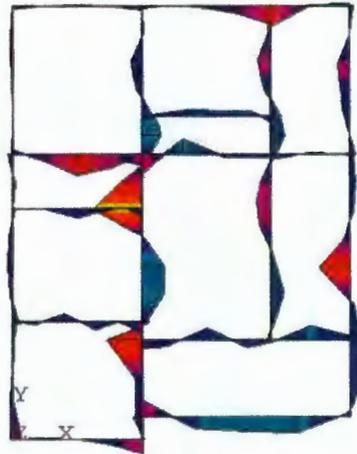


En esta imagen pueden apreciarse la distribución de cargas(en toneladas) sobre la retícula de cimentación, así como la restricción de desplazamientos, en dirección x y y, en sus esquinas principales.

1
LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.543
ELEM=22
MAX =.681002
ELEM=94

ANSYS
MAY 18 2004
11:57:35
PLOT NO. 7

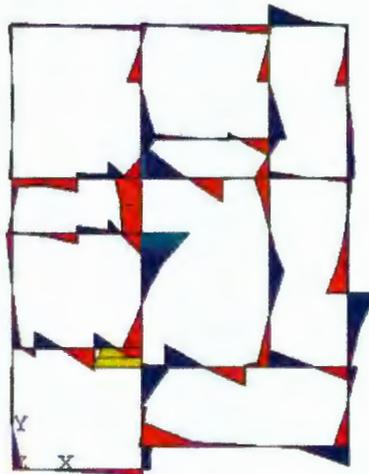


MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 1

1
LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYEM
MIN =-2.966
ELEM=96
MAX =2.842
ELEM=22

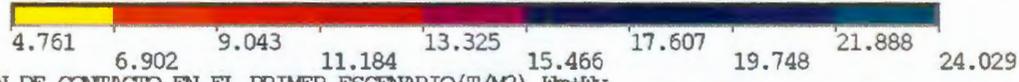
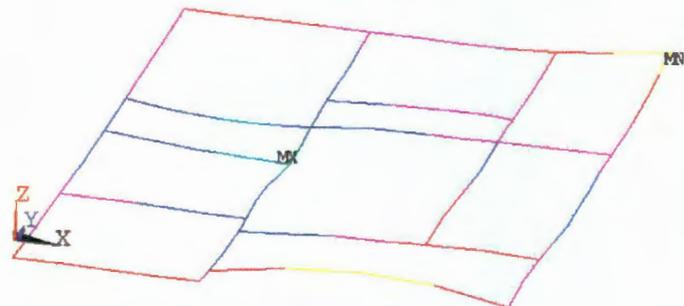
ANSYS
MAY 18 2004
11:57:37
PLOT NO. 8



FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 1

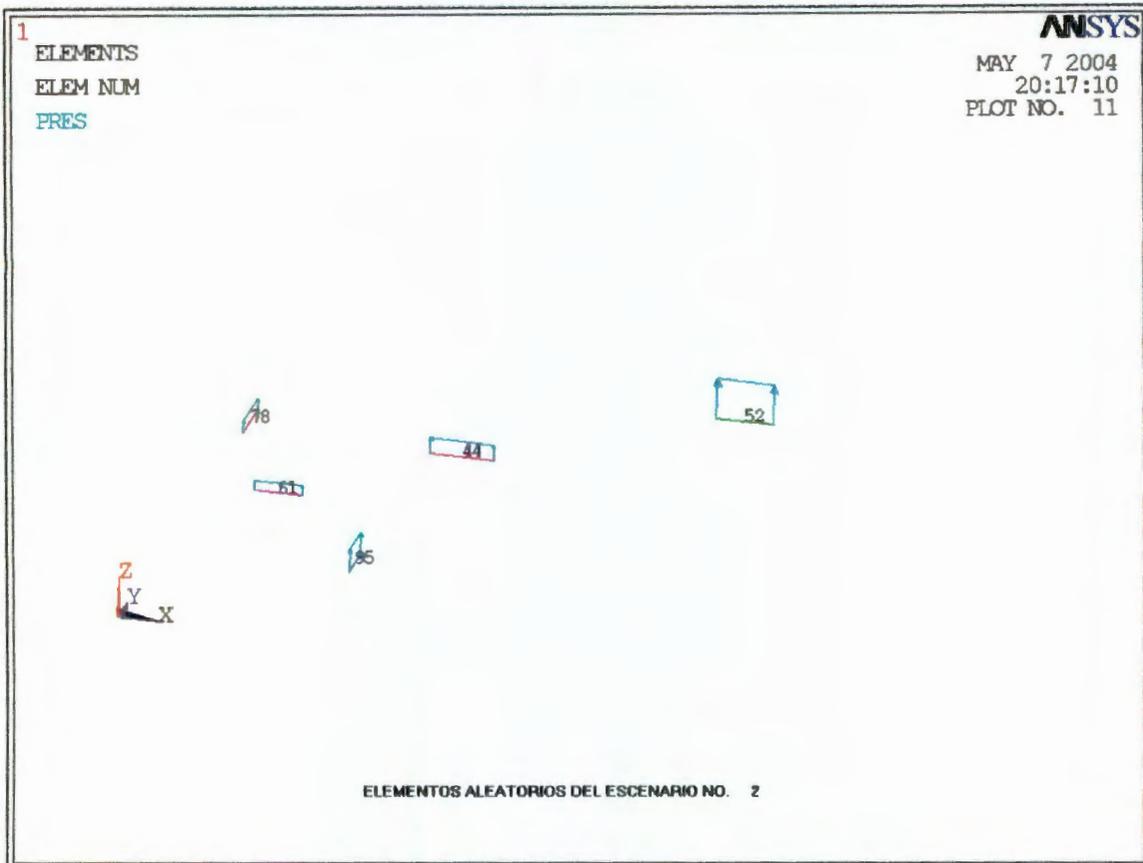
1
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
PCONI (NOAVG)
DMX =.003664
SMN =4.761
SMX =24.029

ANSYS
MAY 7 2004
20:17:00
PLOT NO. 9

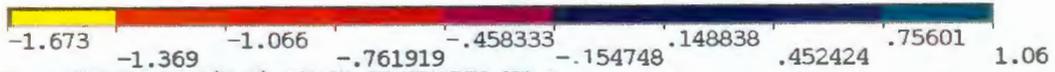
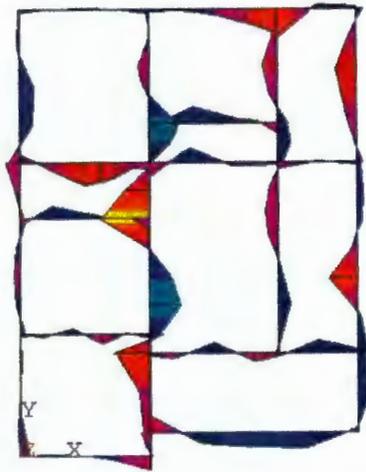


PRESION DE CONTACTO EN EL PRIMER ESCENARIO(T/M2) .Wtr+Wv.

ESCENARIO NO. 2

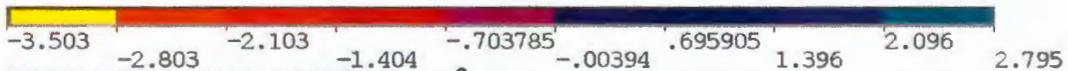
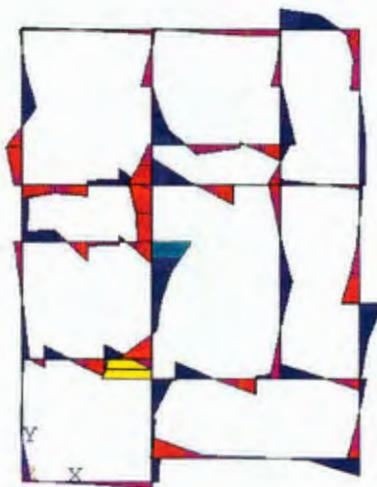


1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.673
ELEM=22
MAX =1.06
ELEM=95



MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO.2

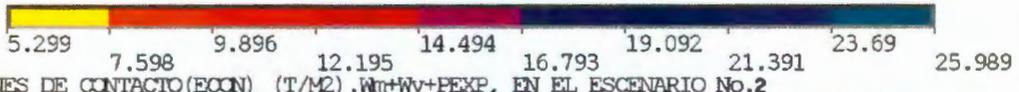
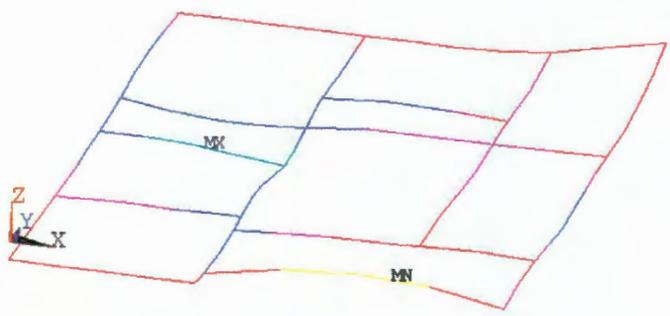
1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-3.503
ELEM=96
MAX =2.795
ELEM=22



FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 2

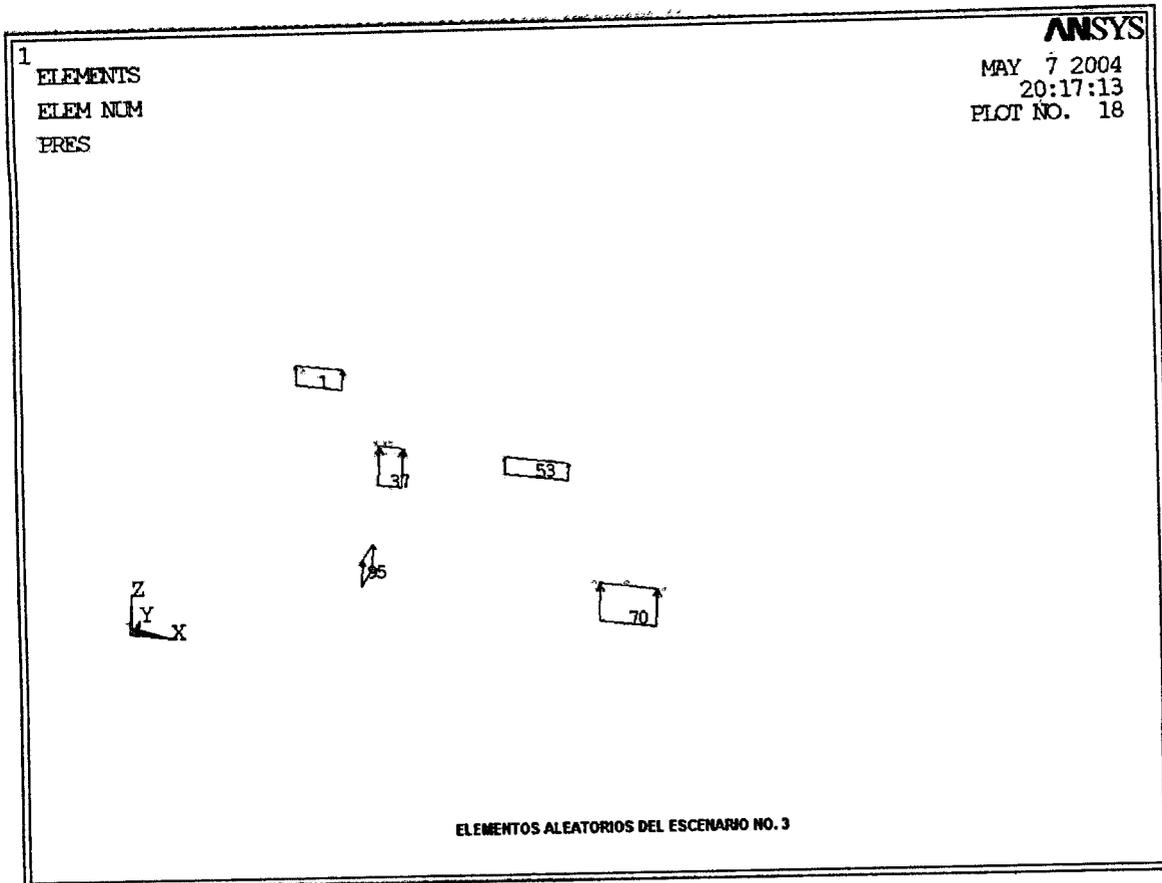
1
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.00356
SMN =5.299
SMX =25.989

ANSYS
MAY 7 2004
20:17:13
PLOT NO. 16



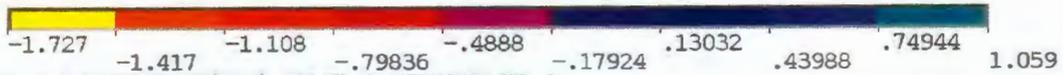
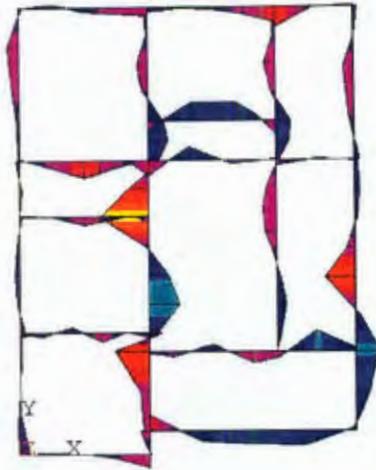
PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2).Wt+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.2

ESCENARIO NO. 3



1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.727
ELEM=22
MAX =1.059
ELEM=94

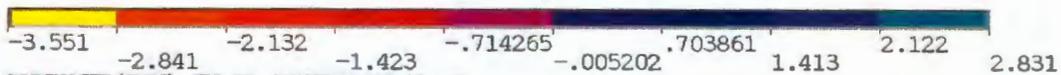
MAY 18 2004
11:57:57
PLOT NO. 21



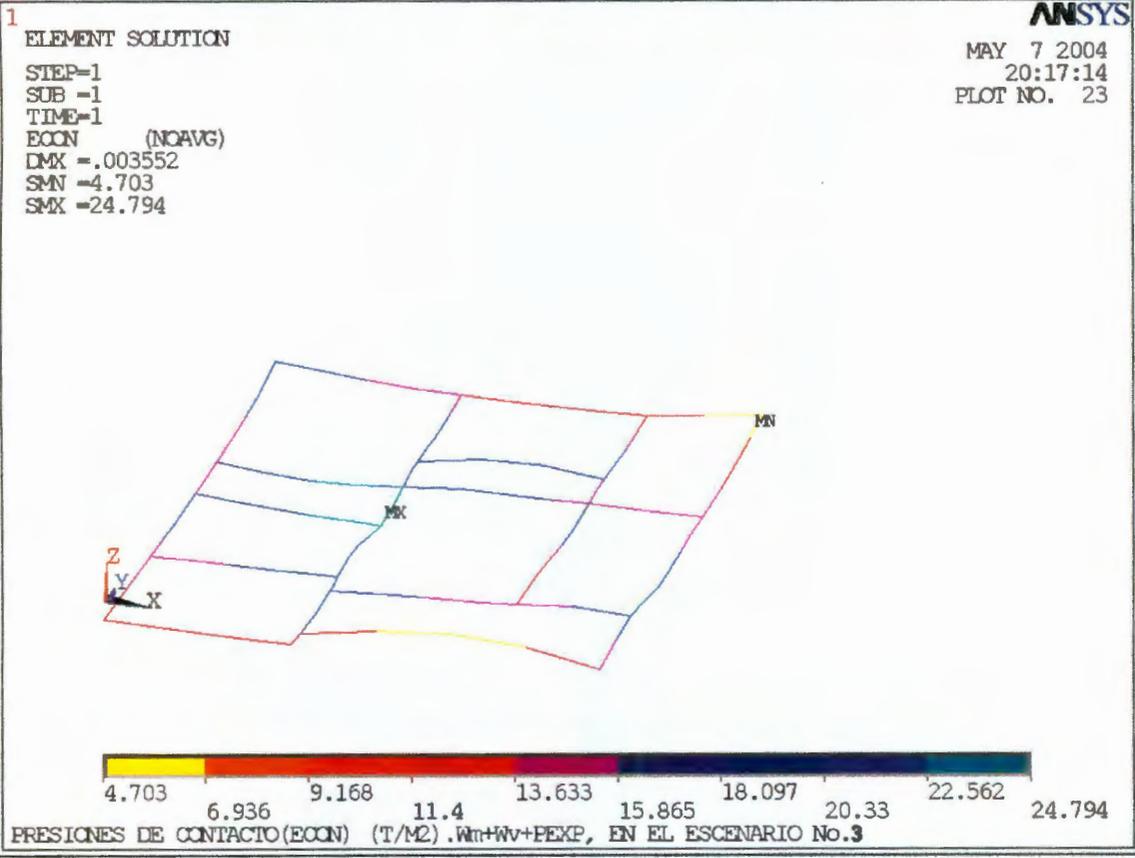
MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 3

1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-3.551
ELEM=96
MAX =2.831
ELEM=22

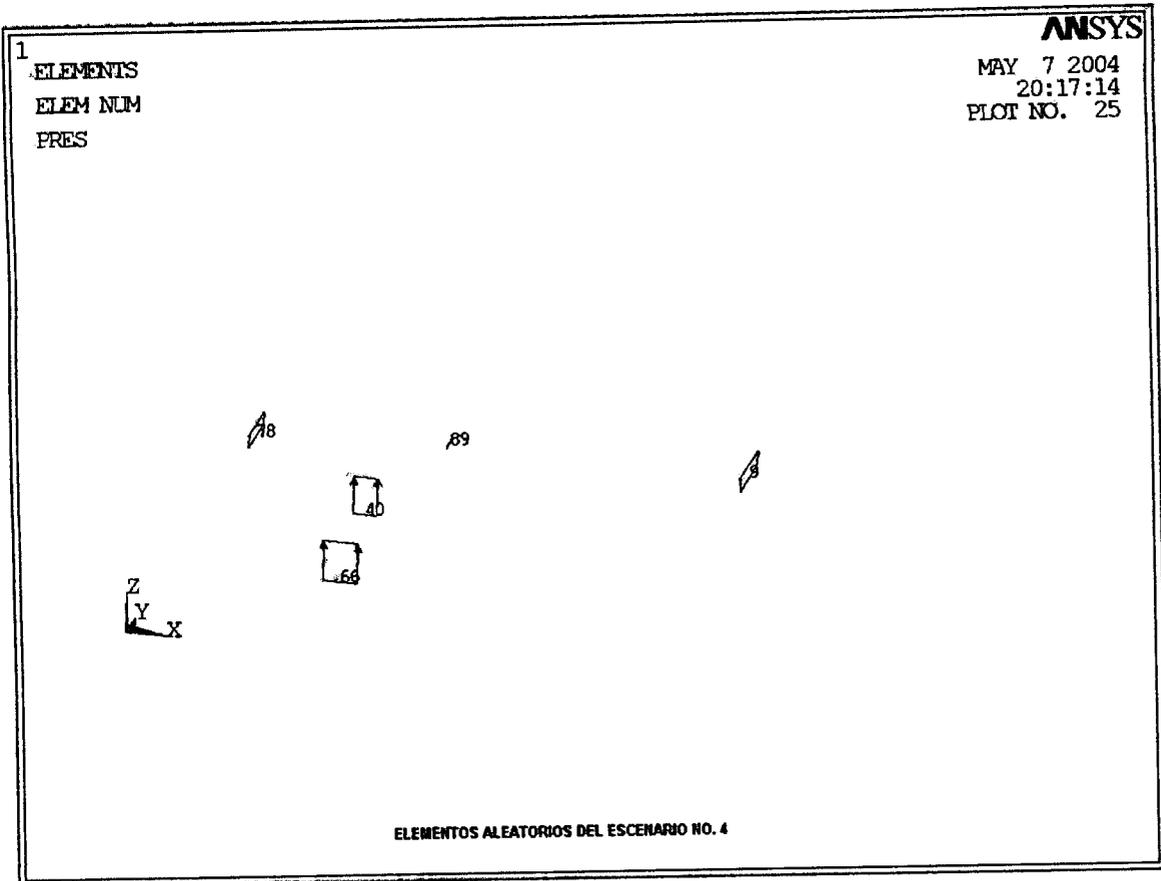
MAY 18 2004
11:57:58
PLOT NO. 22



FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 3



ESCENARIO NO. 4

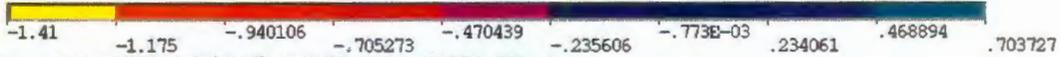
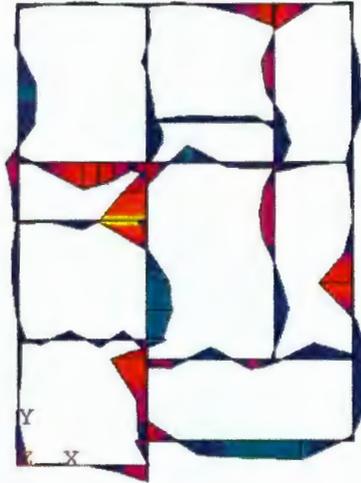


1

LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.41
ELEM=22
MAX =.703727
ELEM=94

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:00
PLOT NO. 28



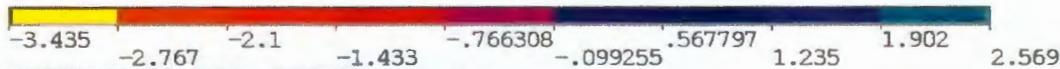
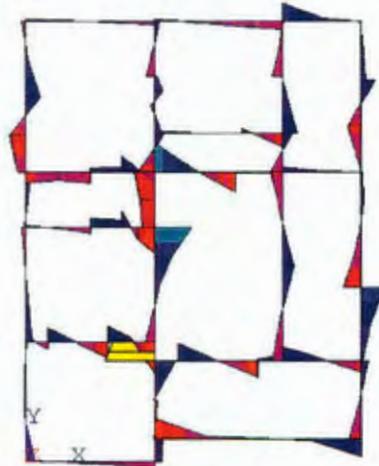
MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 4

1

LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-3.435
ELEM=96
MAX =2.569
ELEM=22

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:00
PLOT NO. 29



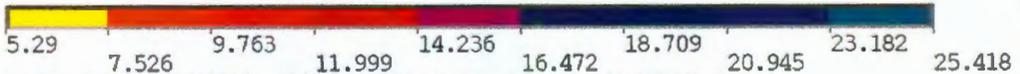
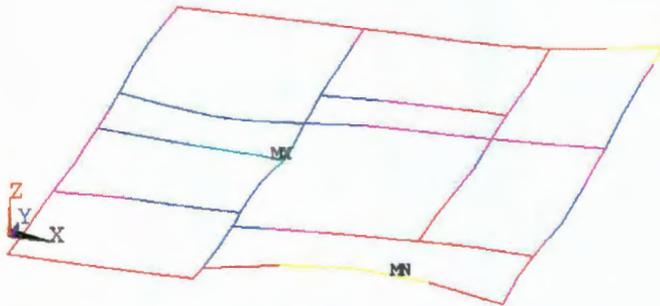
FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No.4

ANSYS

1 ELEMENT SOLUTION

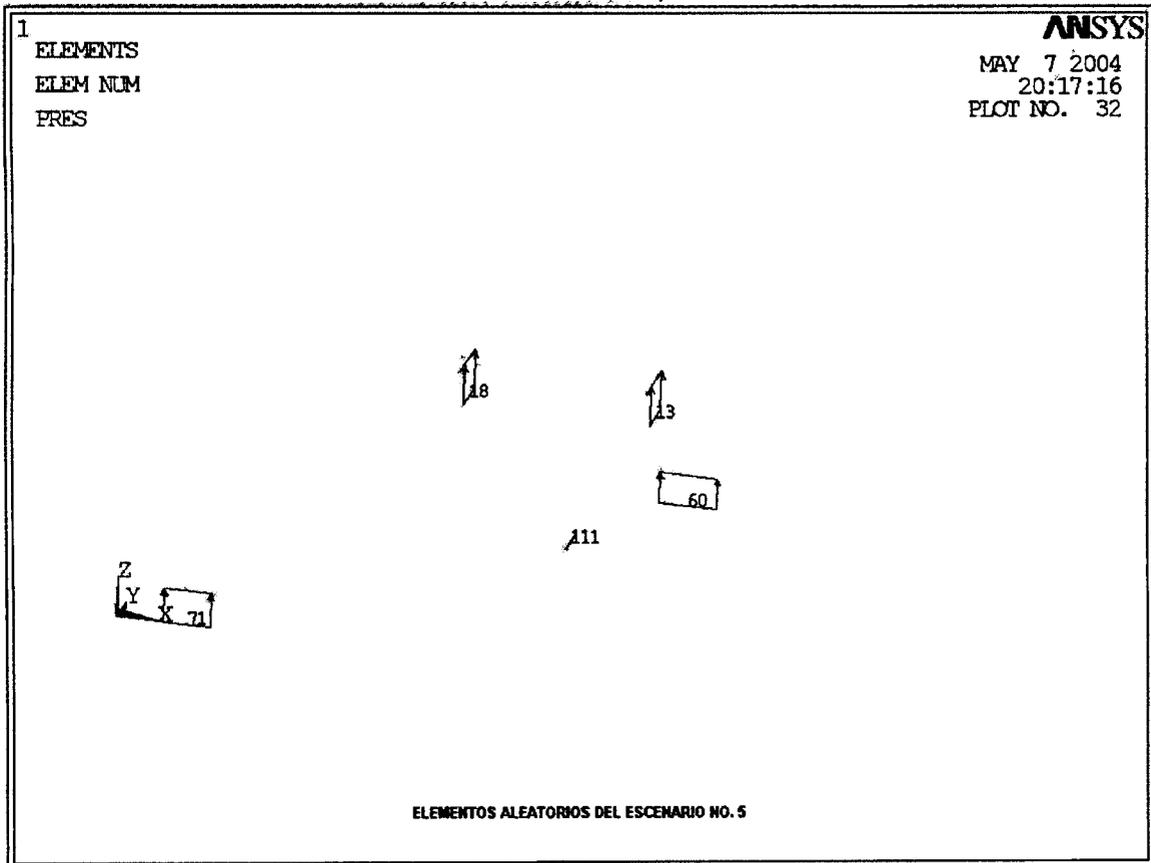
MAY 7 2004
20:17:16
PLOT NO. 30

STEP=1
SUB -1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.003491
SMN =-5.29
SMX =-25.418



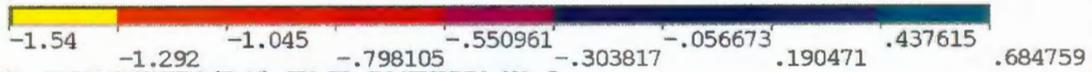
FRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.4

ESCENARIO NO. 5



1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.54
ELEM=22
MAX =.684759
ELEM=94

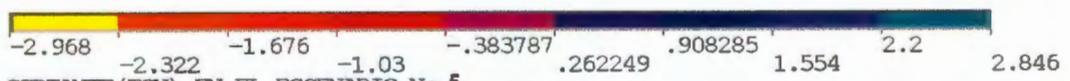
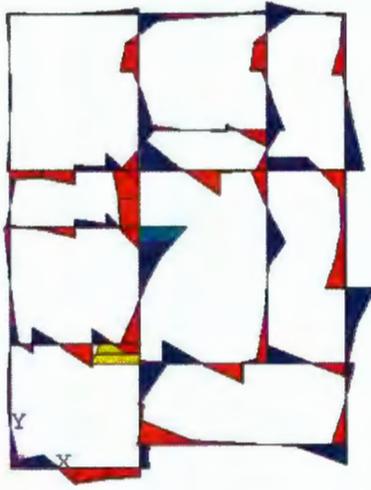
ANSYS
MAY 18 2004
11:58:02
PLOT NO. 35



MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO.5

1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-2.968
ELEM=96
MAX =2.846
ELEM=22

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:02
PLOT NO. 36



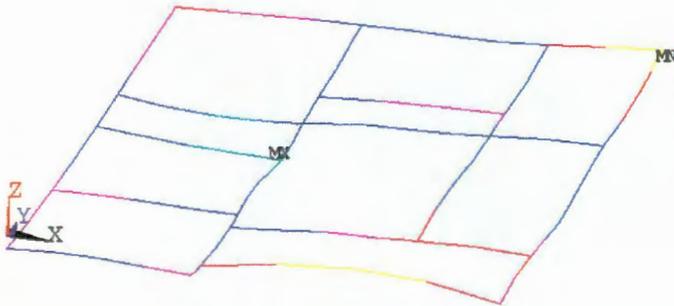
FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No.5

ANSYS

MAY 7 2004
20:17:17
PLOT NO. 37

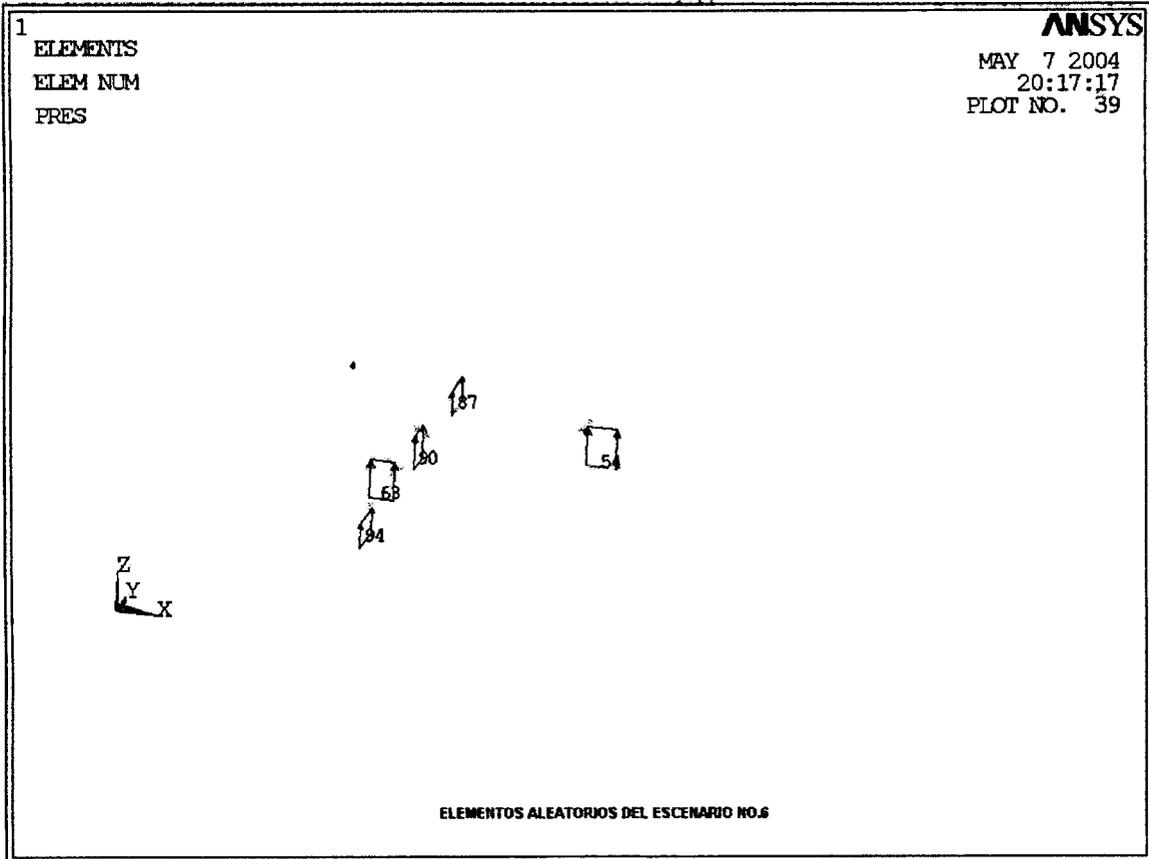
1 ELEMENT SOLUTION

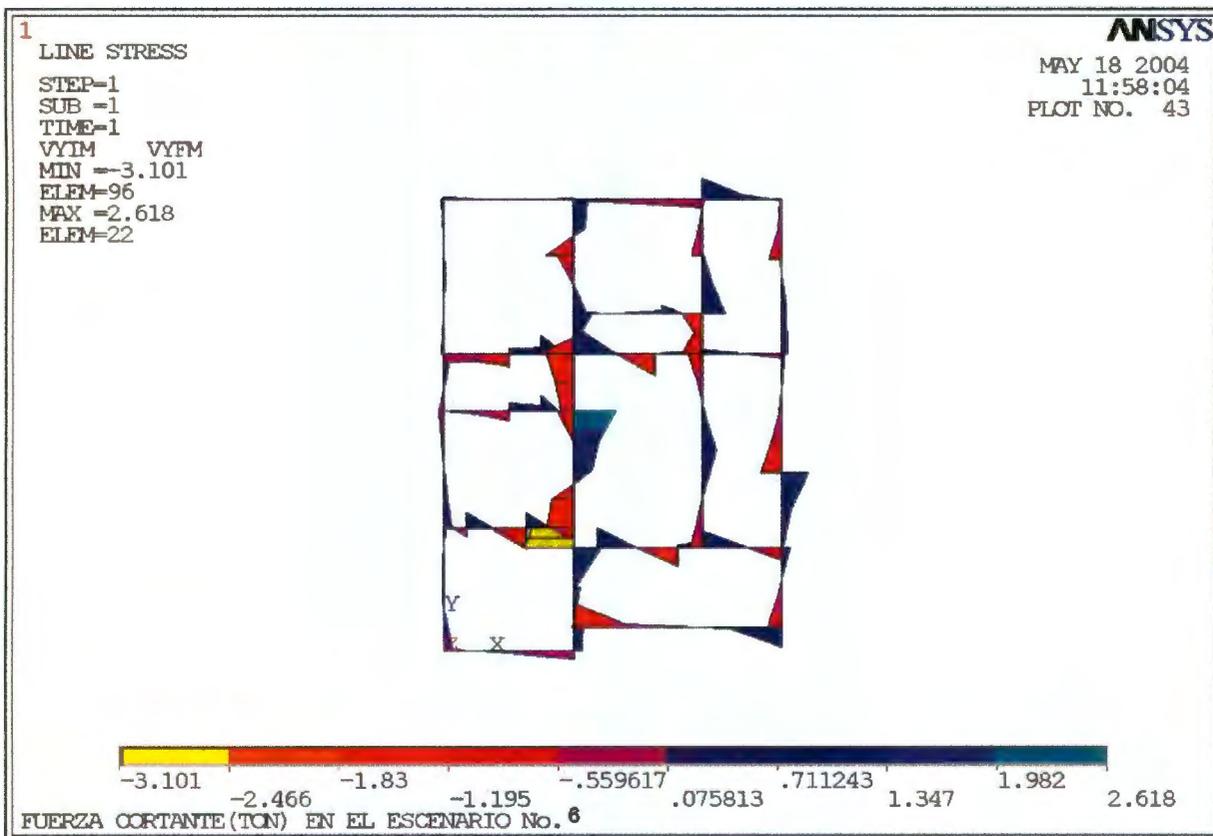
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.003674
SMN =4.689
SMX =23.976



PRESIONES DE CONTACTO (ECON) (T/M2). Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.5

ESCENARIO NO. 6





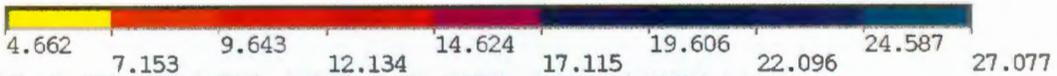
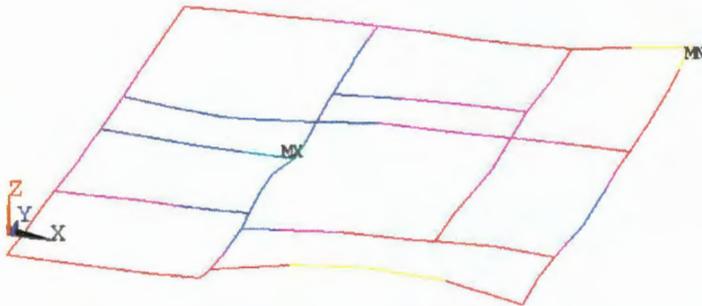
1

ELEMENT SOLUTION

STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.00318
SMN =4.662
SMX =27.077

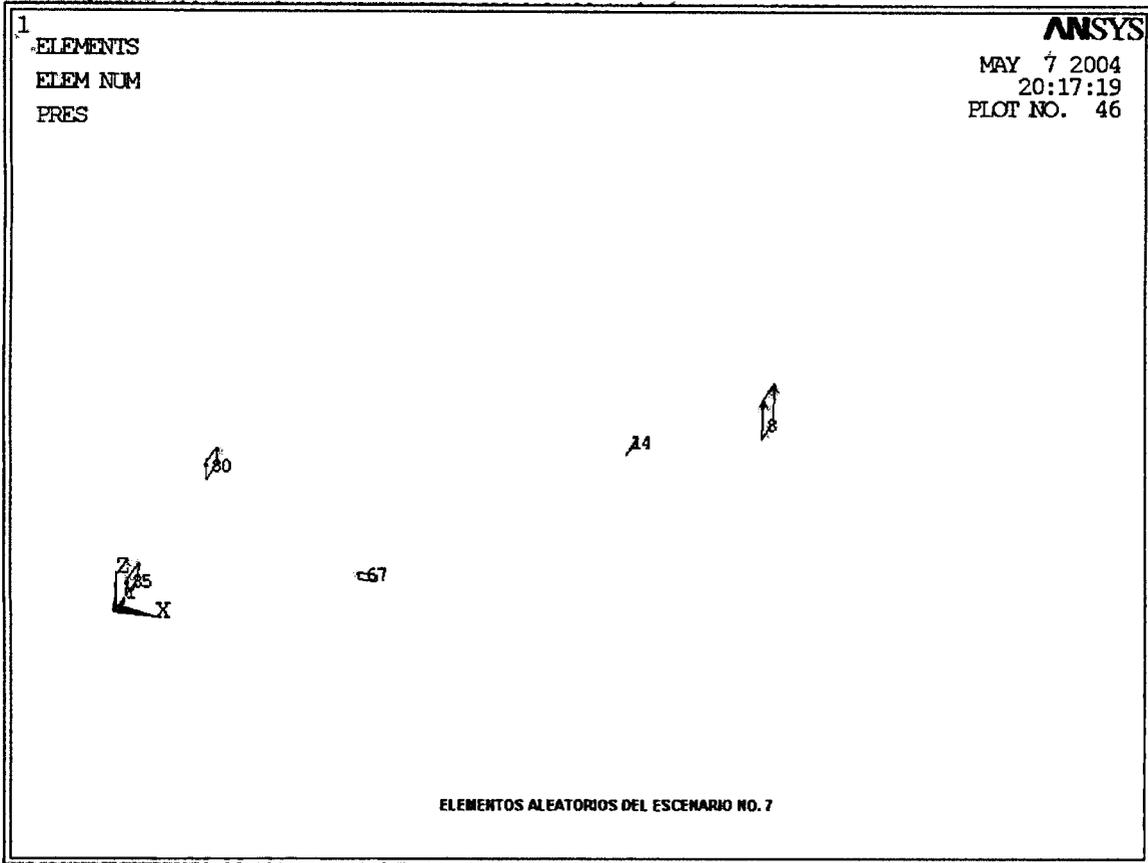
ANSYS

MAY 7 2004
20:17:18
PLOT NO. 44



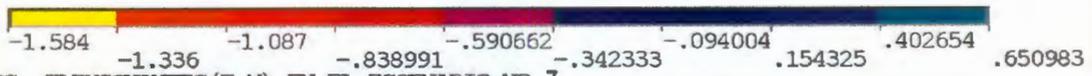
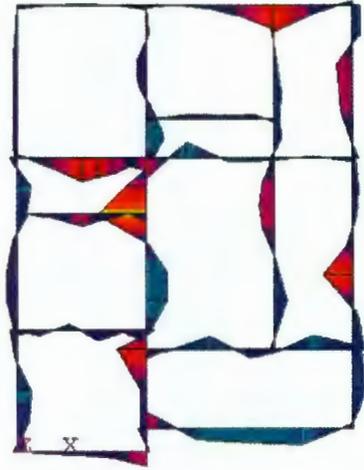
PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.6

ESCENARIO NO. 7



1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.584
ELEM=22
MAX =.650983
ELEM=94

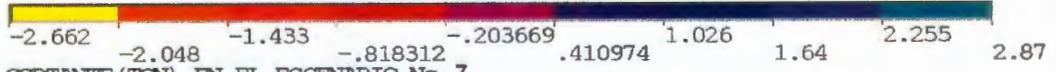
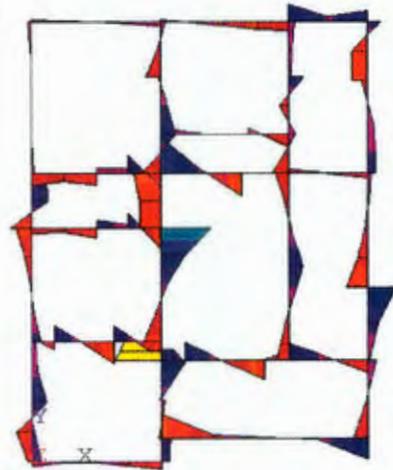
ANSYS
MAY 18 2004
11:58:06
PLOT NO. 49



MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 7

1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-2.662
ELEM=96
MAX =2.87
ELEM=22

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:06
PLOT NO. 50

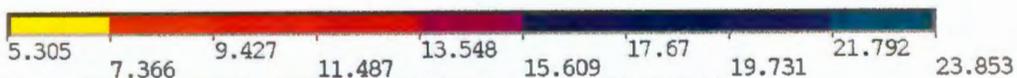
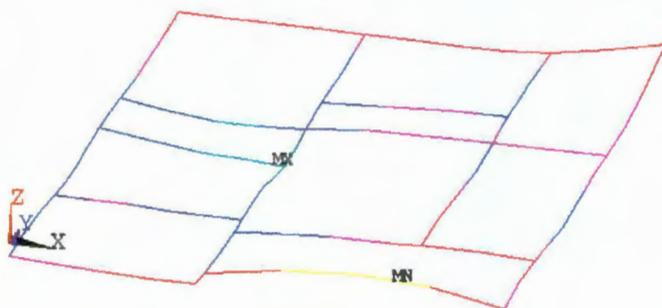


FUERZA CORTANTE (TCN) EN EL ESCENARIO No. 7

1 ELEMENT SOLUTION

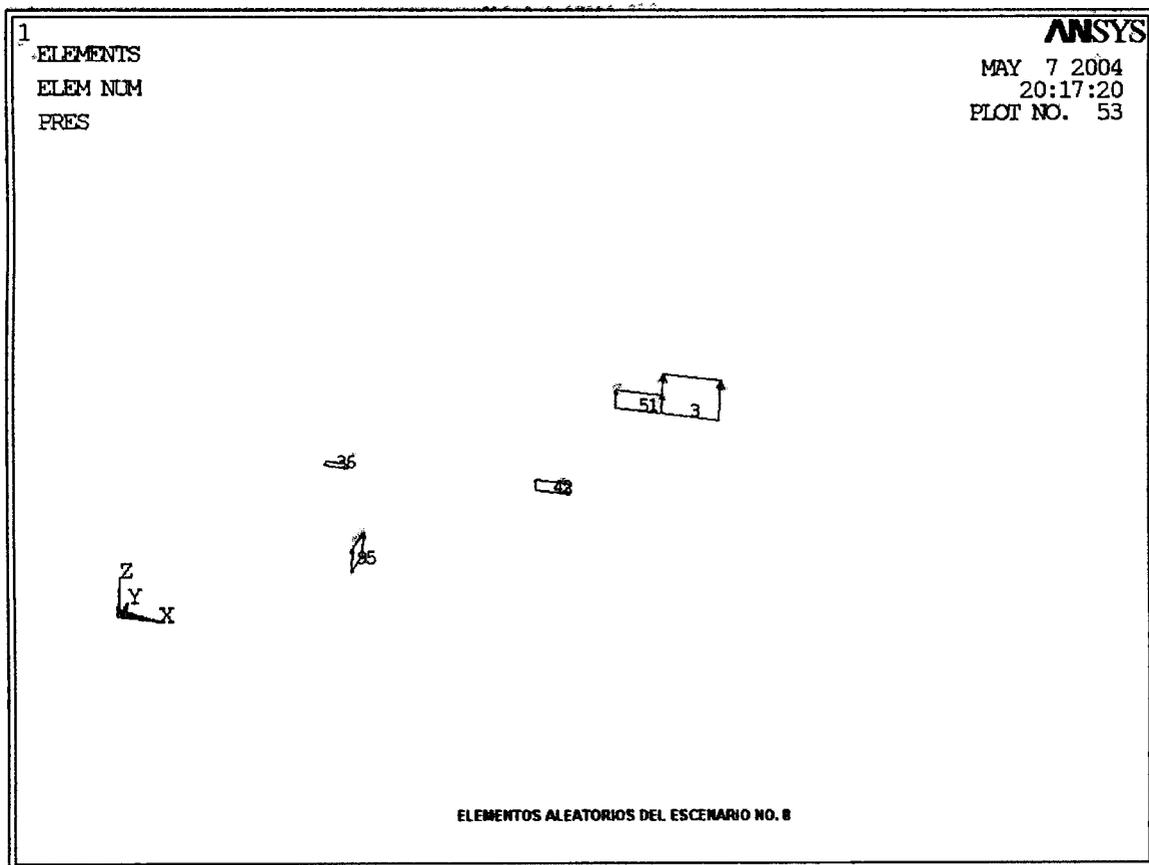
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.003696
SMN =5.305
SMX =23.853

ANSYS
MAY 7 2004
20:17:20
PLOT NO. 51



PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.7

ESCENARIO NO. 8

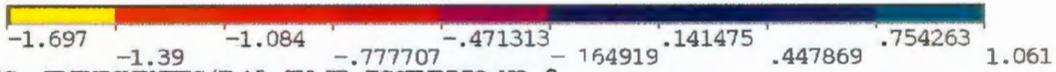
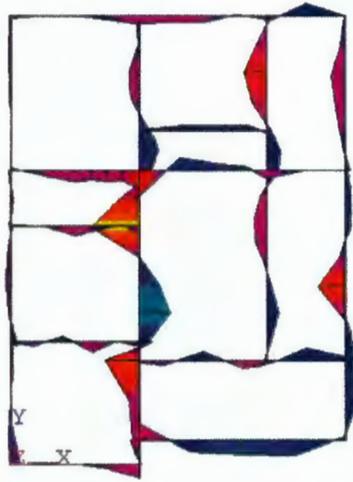


1
LINE STRESS

ANSYS

MAY 18 2004
11:58:08
PLOT NO. 56

STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.697
ELEM=22
MAX =1.061
ELEM=95



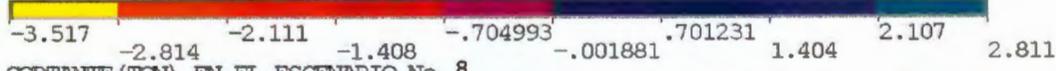
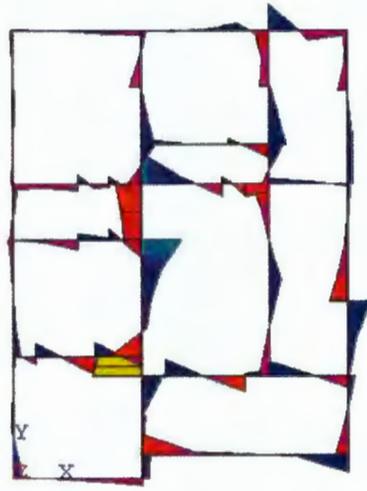
MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 8

1
LINE STRESS

ANSYS

MAY 18 2004
11:58:08
PLOT NO. 57

STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-3.517
ELEM=96
MAX =2.811
ELEM=22

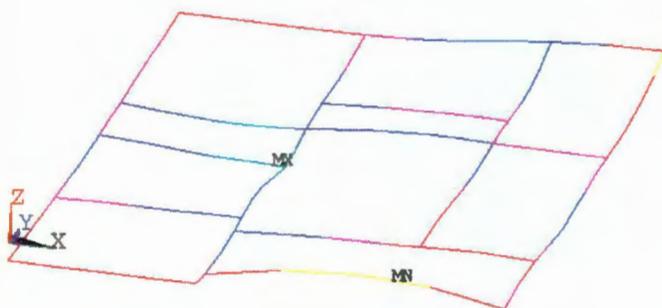


FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 8

1
ELEMENT SOLUTION

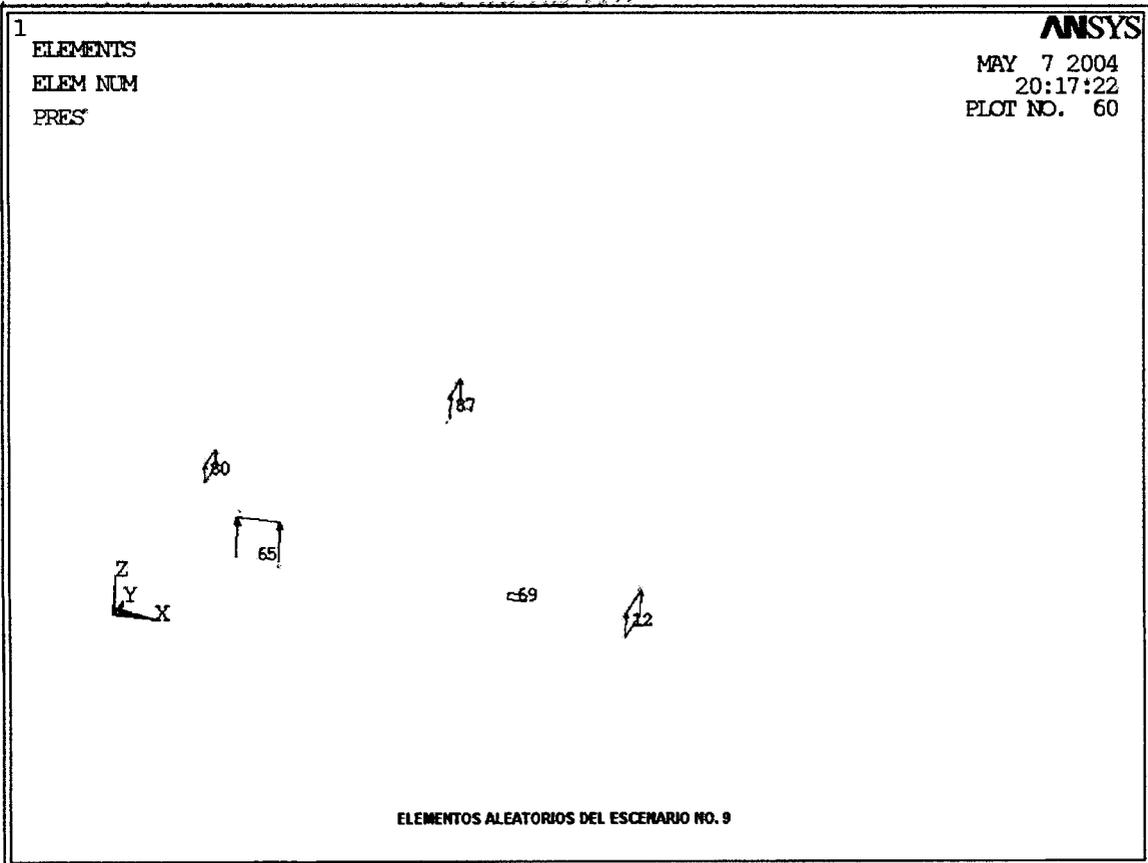
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =-.003557
SMN =-5.301
SMX =24.662

ANSYS
MAY 7 2004
20:17:21
PLOT NO. 58



PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2) .Wm+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.8

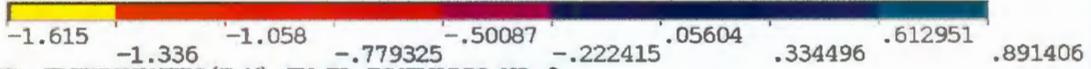
ESCENARIO NO. 9



1
LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.615
ELEM=22
MAX =.891406
ELEM=99

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:10
PLOT NO. 63

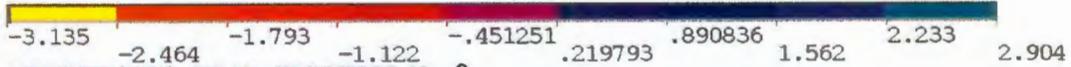
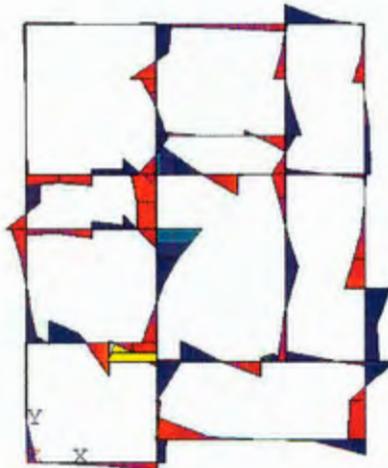


MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 9

1
LINE STRESS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-3.135
ELEM=96
MAX =2.904
ELEM=22

ANSYS
MAY 18 2004
11:58:10
PLOT NO. 64

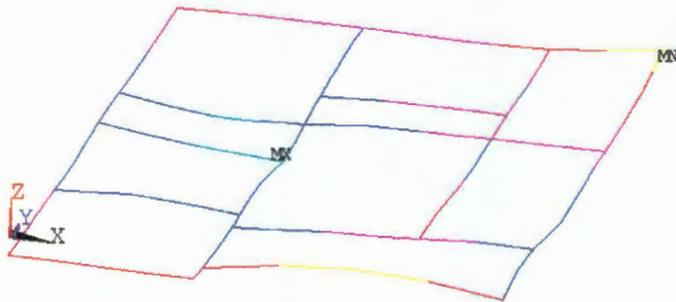


FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 9

1 ELEMENT SOLUTION

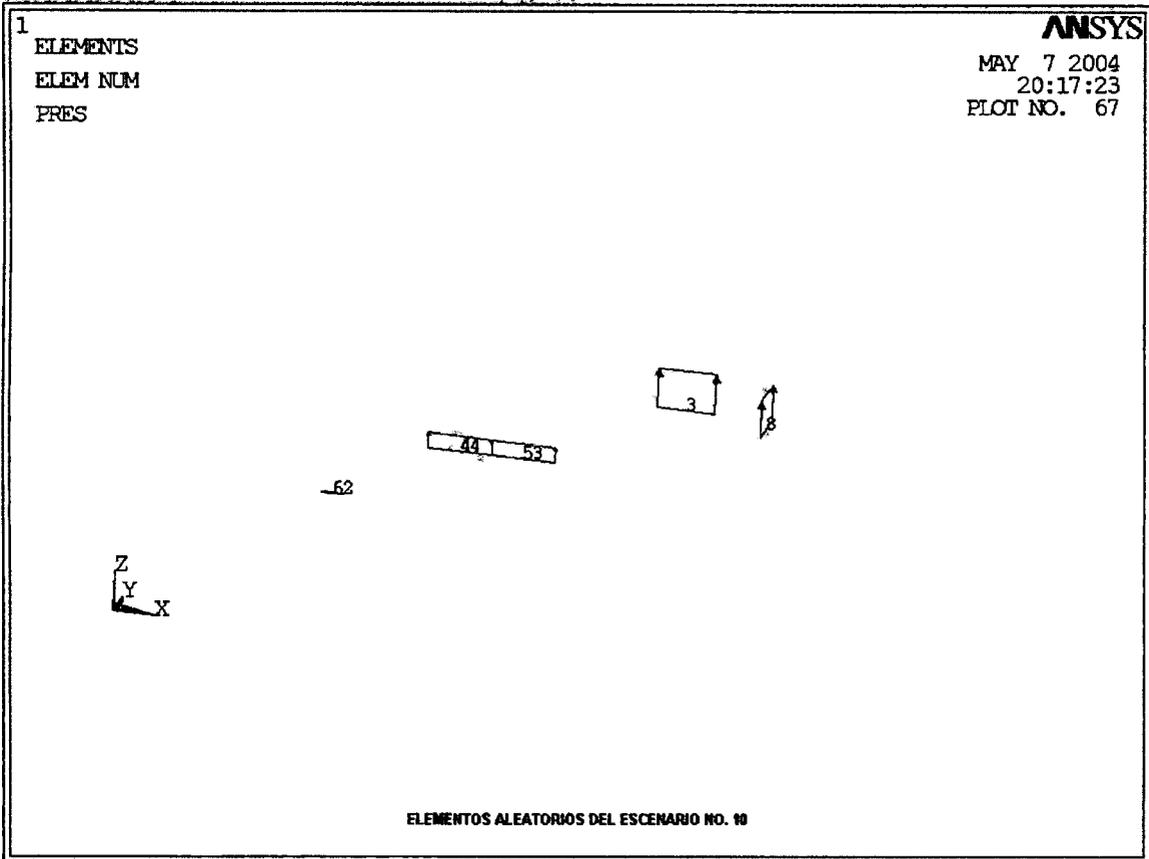
MAY 7 2004
20:17:23
PLOT NO. 65

STEP=1
SUB =1
TIME=1
EQN (NOAVG)
DMX =.003717
SMN =4.709
SMX =23.789



PRESIONES DE CONTACTO(EQN) (T/M2) .Wt+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO No.9

ESCENARIO NO. 10



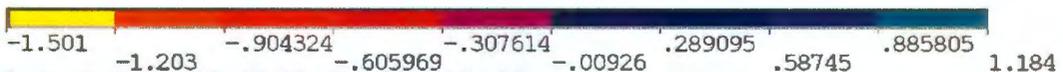
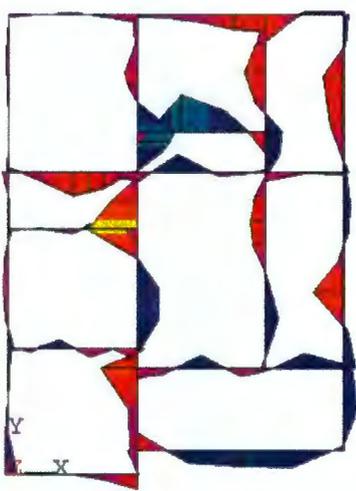
1

LINE STRESS

ANSYS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
MYI MYF
MIN =-1.501
ELEM=22
MAX =1.184
ELEM=53

MAY 18 2004
11:58:12
PLOT NO. 70



MOMENTOS FLEXIONANTES (T.M) EN EL ESCENARIO NO. 10

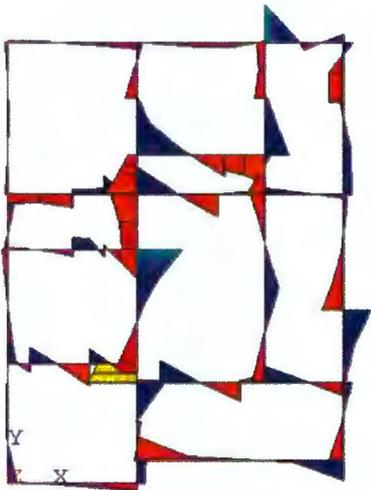
1

LINE STRESS

ANSYS

STEP=1
SUB =1
TIME=1
VYIM VYFM
MIN =-2.95
ELEM=96
MAX =2.828
ELEM=44

MAY 18 2004
11:58:13
PLOT NO. 71

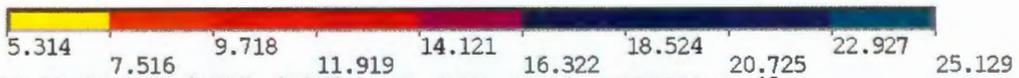
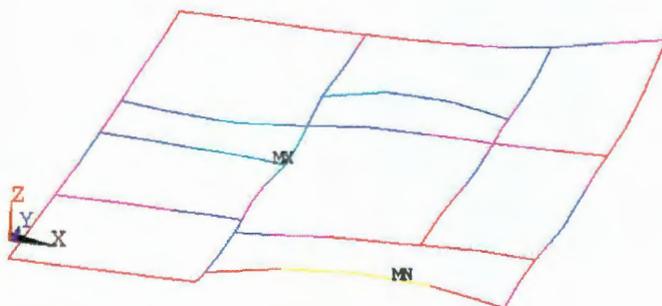


FUERZA CORTANTE (TON) EN EL ESCENARIO No. 10

1 ELEMENT SOLUTION

ANSYS
MAY 7 2004
20:17:24
PLOT NO. 72

STEP=1
SUB =1
TIME=1
ECON (NOAVG)
DMX =.003543
SMN =-5.314
SMX =25.129



PRESIONES DE CONTACTO(ECON) (T/M2) .Wtt+Wv+PEXP, EN EL ESCENARIO NO.10

Resumiendo todos los elementos finitos aleatorios, elegidos 5 por cada uno de los 9 Escenarios*, tenemos los números de los elementos, en la tabla siguiente:

Tabla 3.4 Elementos Aleatorios.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	95	70	89	13	87	14	42	69	44
2	52	95	66	60	63	85	3	87	8
3	44	1	78	111	54	80	51	80	3
4	78	53	9	71	90	67	95	12	53
5	61	37	40	18	94	8	36	65	62

*Realmente son 10 escenarios, teniendo en cuenta que en el primer escenario, sólo analizamos con cargas de servicio sin la actuación de la presión de expansión aleatoria y por tanto, no hay elementos aleatorios en el primer escenario.

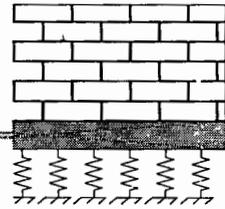
Resumiendo la información de todos los 10 Escenarios, tenemos la tabla siguiente, que nos muestra los siguientes resultados:

- 7) Momento en Y Máximo(MYMAX), (Ton.m).
- 8) No. Del Elemento donde ocurre el MYMAX.
- 9) Esfuerzo Cortante Máximo(VYMAX), (Ton).
- 10) No. Del Elemento donde ocurre el VYMAX.
- 11) Presión de Contacto Máxima(ECON), (Ton/m²).
- 12) No. Del Elemento donde ocurre el ECON.

Tabla 3.5 . RESULTADOS(Macro No.2).

Array Paramet						
File Edit Help						
Page Increme:						
Initial Constan						
Selected: NON						
	MYMAX	No.ELEM	VYMAX	No.ELEM	ECON	No.ELEM
	7	8	9	10	11	12
1	-1.54326942	22	-2.96623393	96	24.0293601	63
2	-1.67267657	22	-3.50316490	96	25.9889638	39
3	-1.72703933	22	-3.55051674	96	24.7944835	91
4	-1.40977277	22	-3.43451771	96	25.4181949	63
5	-1.53953721	22	-2.96793264	96	23.9756773	63
6	-1.53206359	22	-3.10133740	96	27.0773270	63
7	-1.58397800	22	-2.66223992	96	23.8526642	63
8	-1.69688851	22	-3.51744003	96	24.6618619	63
9	-1.61469063	22	-3.13542380	96	23.7887157	63
10	-1.50103307	22	-2.95030906	96	25.1286440	63

C O N C L U S I O N E S



El tema de cimentaciones sobre arcillas expansivas ha tomado importancia a nivel mundial y por muestra tenemos los innumerables estudios que se han efectuado en E.U.A. y Australia. Con el monitoreo de losas de cimentación y obtención de resultados se han establecido métodos de análisis de amplio uso en la práctica ingenieril, como los son el Método de Lytton y el Método de Swinburne, entre otros. Estas Investigaciones que han dejado claro el fenómeno de la expansión en construcciones ligeras, como lo son las casas de interés social.

La culminación de este trabajo, ha permitido conocer el comportamiento particular de una casa habitación en su fase interacción suelo-estructura. Un suelo tan heterogéneo en sus propiedades y por lo tanto en su comportamiento ante diversas situaciones climatológicas, como lo son las arcillas.

Con la Metodología de Análisis propuesta, pretendemos que sea considerado como una alternativa más de Análisis de Cimentaciones sobre arcillas expansivas. Metodología que resulta ser muy característica al considerar en su análisis un fenómeno que provoca los agrietamientos en muros de las casas de interés social, al suceder distorsiones angulares no tolerables, fenómeno que ocurre por asentamientos diferenciales debidas a los diferentes niveles de carga sobre la estructura o bien por el desarrollo de la presión de expansión en ciertas zonas de la cimentación. Y lo más importante de esta metodología es que el análisis no es discretizando elementos, sino modelando un conjunto donde la transmisión de esfuerzos juega un papel muy importante.

Además de lo anterior, podemos resaltar, que no solo consideramos un análisis de la cimentación bajo un panorama o escenario establecido, sino más bien bajo distintos, con la variable en que cada uno de ellos se aplicó; el desarrollo de la presión de expansión en varias zonas de la cimentación de manera aleatoria, con el propósito de obtener resultados

por cuestionar y decidir los parámetros de diseño estructural, con la confianza que nos ofrece este método.

Al comenzar el análisis, nos preguntamos aspectos de gran interés estadístico y que sin lugar a dudas son temas adicionales, propuestos para tesis:

- 1) ¿Cuántos elementos aleatorios(NEA) considerar?
- 2) ¿Cuántos escenarios(NESC) proponer?

Claro está que en un principio deducimos, primeramente conocer algunos resultados, bajo diferentes valores, de los dos aspectos cuestionados anteriormente. Sin embargo sólo pudimos concluir que habría que realizar un análisis estadístico detallado de los resultados, como sucede en todo proceso donde la variabilidad de resultados no nos proporciona el poder de confiabilidad, sino más bien, el poder procesarlos estadísticamente y obtener valores representativos.

Por lo que decidimos proponer los siguientes valores:

NEA=5

NESC=10

¿Por qué?, por sentido común y porque cualquiera de las combinaciones que se nos hubiera ocurrido, también hubieran sido bien propuestas, ó acaso la naturaleza, en cuanto concierne a este fenómeno(desarrollo de la presión de expansión), nos permite predecir con precisión ¿en que épocas del año?, ¿en qué puntos de la cimentación? y ¿cuántas veces ocurrirá algo semejante durante "x" periodo de tiempo?. Lo que hace aumentar la incertidumbre de la predicción.

Estos valores propuestos tienen un rango máximo y mínimo; para los NEA tenemos desde 1 hasta 112 elementos finitos, que son el total que conforman la retícula de cimentación. Y en cuanto a NESC desde 1 hasta N escenarios. Claro está que tampoco es el caso de ir hasta los extremos. Pero, ¿Cuántos de ellos serán los representativos que nos optimicen el análisis?, para ello, habría que esperar que sea popular el Método de Análisis propuesto, como ocurre con todo método, y que pasará a normatividad.

Sin menoscavo por estas consideraciones, comenzamos por proponer el resto de los datos, como las propiedades de la arcilla(arcilla media), propiedades del concreto y el

dimensionamiento de la sección de la trabe a considerar en el análisis, siendo éstas: una base $B=15\text{cm}$ y un peralte $H=30\text{cm}$, tomando en cuenta el proceso constructivo y los volúmenes de concreto menor a los de una zapata convencional.

En este último punto, fue de gran importancia al proponer una cimentación a base de trabes peraltadas donde el objetivo fue reducir, a la hora del desarrollo del potencial expansivo, la presión expansión y con ello tener menores distorsiones angulares, por supuesto, garantizando que el ancho de la trabe fuese, en su mayoría, lo suficiente para no tener problemas por capacidad de carga. En nuestro análisis, la presión de contacto(ECON) arrojó resultados con un promedio de 24.78 Ton/m^2 , valor superior a una resistencia de $q_u=20\text{Ton/m}^2$ correspondiente a una arcilla media. Problema que con éste método propuesto nos permite visualizar en que zonas se requiere un ligero ensanchamiento de la cimentación(Zapata corrida) debido a este fenómeno de capacidad de carga. Esto deriva en poder lograr optimizar de manera evidente los volúmenes y costos de material.

En cuanto a las distorsiones angulares tolerables, por reglamento y que nos garantizan el no agrietamiento de nuestras construcciones de mampostería, podemos observar en nuestro ejemplo los valores máximos de las distorsiones angulares y en que zona se presenta por cada escenario, tomando un promedio de ellas, podemos observar que la distorsión angular máxima promedio(DISANG) es 953.27 , la cual es mayor que 300 , situación que marca la baja posibilidad de hallar la presencia de alguna fisura considerable en nuestra construcción. Al analizar el parámetro de $\text{long./asentamiento diferencial} = 300$ se deduce que, por reglamento, se acepta una deformación máxima de 3mm por cada metro de longitud de la cimentación, tanto que en la nuestra está ocurriendo 1mm de deformación por cada metro de longitud de nuestra cimentación.

Un punto que cuestionamos en el análisis, son las distorsiones angulares: por lo general éste valor se obtiene de asentamientos diferenciales ocurridos entre un punto y otro que generalmente se hallan distanciados según longitudes comunes de una división arquitectónica(de 3 a 6 m), situación que nos podría dar valores engañosos, al olvidarnos de los puntos medios, donde pueden ocurrir valores de distorsiones angulares mayores a 300 y por lo tanto la aparición de grietas en nuestras construcciones. Por lo anterior se decidió que el calculo de distorsiones angulares fuese por cada elemento finito con longitud promedio de 1.2 m , valores que sin lugar a duda nos proporciona información más confiable y precisa.

Pasando al tema de los desplazamientos máximos(DZMAX) ocurrientes por cada escenario, el reglamento señala que no debe ser mayor de 50 mm, en nuestro análisis tenemos un valor de DZMAX promedio igual a 0.0034 m o bien 3.4mm, valor bien librado. EN esto lo sobresaliente es que se aprecia una zona donde el nivel de carga es baja y el desplazamiento ocurre hacia arriba, es decir, la presión de expansión lo logra levantar ligeramente.

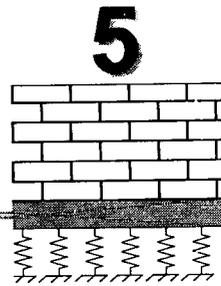
Sin duda alguna, cuando obtuvimos los esfuerzos(momentos(Ms) y cortantes(Vs)) de servicio para diseño estructural, pudimos constatar la buena elección de nuestra sección de trabe(15x30cm), puesto que con estos valores promedios(Ms=1.58 T.m. y Vs=3.18 Ton.) se nos permite diseñar un elemento subesforzado, al no rebasar el acero máximo como elemento subesforzado, situación recomendable para un buen comportamiento en cuanto al tipo de falla a la que se refiere. Un punto importante a considerar en el diseño estructural es que el acero resultante como parte del refuerzo se proporcione tanto en el lecho inferior como en el superior, por la situación que a continuación se explica.

Previendo la circunstancia de contracción, fenómeno que pareciera ser ignorado en ésta metodología de análisis propuesta; Situación que podemos interpretar como la pérdida de soporte, al no tener contacto el suelo con la estructura, en ciertas zonas, y además donde ocurre una redistribución de esfuerzos al actuar el segmento de trabe como una viga simplemente apoyada, es decir, el acero principal lo requiere tanto el lecho inferior como el superior de la trabe. En vísperas de que ocurran ambos fenómenos, se armará la trabe con el acero principal tanto en lecho superior como en el inferior.

Bueno, esto es lo más importante de este trabajo que puedo compartir con ustedes como parte de mis conclusiones de un largo pero muy interesante investigación, y que sólo los especialistas en la materia podrán discutir la factibilidad de la metodología propuesta.

Por último, sólo me queda comentar, desde el punto de vista personal, la realización de este trabajo me ha ayudado a conocer más a fondo el problema de las cimentaciones de casas habitación sobre arcillas expansivas, además de ampliar mis conocimientos en este rubro de la mecánica de suelos, aspectos que me han ayudado a refinar mi criterio, como profesionista, en especial a la ejecución de obra sobre este tipo de suelos conflictivos.

RECOMENDACIONES



En aspectos de:

MODELACIÓN:

1. Dividir la retícula en elementos finitos donde incidan las cargas puntuales y donde exista variabilidad de carga distribuida, con la finalidad de facilitar la captura de cargas en el programa ansys.
2. Con respecto a la bajada de cargas, se recomienda hacerla sin incluir el peso propio de la trabe de cimentación propuesta, ya que el mismo programa permite incluirla, con ello podemos iterar diferentes secciones sin necesidad de actualizar las bajadas de carga.
3. Conforme se vaya armando la geometría, la asignación de cargas, etc., en el programa ansys, se recomienda ir guardando la información en un macro y de preferencia por etapas, para al final armarlo, de no ser así puede que el usuario se confunda y ocasione problemas en su modelación.

PROCESO CONSTRUCTIVO:

1. Deberá hacerse una previa nivelación de la superficie, aprovechando para remover la capa de encima, que generalmente se encuentra muy suelta.
2. Colado de una previa plantilla de 5cm, bajo la superficie de contacto viga-suelo.
3. Previendo las circunstancias de contracción, se sugiere que el acero se coloque en ambas partes; superior e inferior de la viga.

Referencias Bibliográficas.

- Bowles Joseph E. (1982), *Propiedades geofísicas de los suelos*, 6ª Ed., McGraw-Hill, México.
- Castillo M. H. (1973), *Análisis Y Diseño Estructural*, Editorial Representaciones y servicios de Ingeniería S.A., 1ª Ed. México.
- Crespo Villalaz Carlos(1999), *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, 4a. Edición, Limusa.
- De Buen L. H. O.(1960), *Apuntes De Diseño Estructural*, UNAM, División de Ing. Civil, topografía y geodésica, México.
- Holland, J. E. And Richard, J. (1984), *The Practical Desing of Foundations for Ligh Structures on Expansive Clays*, 5° International Conference on Expansive Soils, Adelaide, South Australia, pag. 154-158.
- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso (1999), *Mecánica de Suelos Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, 3ª edición, Limusa, México.
- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso (2000), *Mecánica de Suelos Tomo 2, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos*, 2ª edición, Limusa, México.
- Lytton, R. L. And Woodburn, J. A.(1973), *Desing and performance of mat foundations on expansive clays*, 3ra. International Conference on Expansive Soils, Haifa, Israel, pag. 301-308.
- Meli Piralla Roberto(2001), *Diseño Estructural*, 2ª edición, Limusa, México.
- Peck B. Ralph, Hanson Walter E. y Thornburn Thomas H. (1983), *Ingeniería de Cimentaciones*, 2a. edición, Limusa, México.
- Pérez Rea L., Horta Rangel J., Zepeda Garrido A. (2004), *Optimal Design of Lattice Foundation on Expansive Soil*, Proceedings of the XXIII Modal Análisis Conference USA, febrero.
- Sowers George B. y Sowers George F.(1990), *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Sexta Reimpresión, Limusa, México.
- Tutorial Software A N S Y S Versión 6.0*, Copyright 2002 SAS IP, Inc. All rights reserved, U.S.A.
- Zepeda Garrido José Alfredo(1986), *Cimentación sobre Arcillas Expansivas*, UAQ, México.