



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACION

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“MÉTODO ALGORÍTMICO MATEMÁTICO DE
ELEMENTOS FINITOS PARA CONSTRUIR LOSAS DE
ESTRUCTURAS DIVERSAS, CON RESISTENCIA
ESPECÍFICA”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN INGENIERIA**

AUTOR:

ALANOCA QUENTA ANGEL FREDY

ASESOR:

DR. KASENG SOLIS FREDY LIZARDO

JURADO:

DR. RAZA FLORES JOSÉ

DR. SOTO SOTO LUIS

DRA. ESENARRO VARGAS DORIS

Lima – Perú

2019

TITULO:

**“Método Algorítmico Matemático de Elementos Finitos para construir
Losas de Estructuras diversas, con Resistencia Específica”.**

DEDICATORIA:

A mi querida madre Francisca,
por darme la fuerza espiritual.

A mis familiares, por su gran
apoyo y dedicación constante.

A mis hermosos hijos Freddy,
Fabiola, Ángel Gabriel y a mi
esposa Liliana por ser la alegría y
razón de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la salud, el pan de cada día, la fuerza e iluminación para seguir luchando en mi vida.

A mis docentes, por su tiempo y dedicación para brindarme sus conocimientos para formarme en mi vida profesional.

A mis amigos, que siempre estuvieron apoyándome en todo momento para la realización de mis proyectos.

A mis compañeros de trabajo, que me dan ánimo para seguir luchando por mis metas.

INDICE

TITULO	II
DEDICATORIA:.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
RESUMO.....	XIV
INTRODUCCION.....	XV
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	01
1.1 Antecedentes	01
1.1.1. Internacionales.....	01
1.1.2. Nacionales	05
1.2 Problema	08
1.2.1 Descripción.....	08
1.2.2 Formulación del problema.....	09
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Fundamento, justificación e importancia	11
1.4.1 Fundamento	11
1.4.2 Justificación de la investigación.....	11
1.4.3 Importancia.....	12
1.4.4 Delimitaciones de la investigación	13
CAPITULO II BASES TEORICAS	14
2.1. Marco Teórico.....	14
2.1.1 Principio de la estructura sistémica de la materia	14

2.1.2	La función y la estructura dependen de los procesos:	14
2.1.3.	Teoría General de los Sistemas.....	16
2.1.4	Sistemas Anacrónicos o Incongruentes	20
2.1.5.	El Conocimiento.	22
2.1.6	Teoría de Losas.....	45
2.2	Marco tecnológico.....	93
2.2.1	Algoritmo:	94
2.3	Marco filosófico	96
2.3.1.	Pensamiento Sistémico	104
2.3.2.	Visión sistémica de la vida	106
2.3.3.-	Paradigma de la tecnología y evolución	109
2.4	Marco Conceptual	123
2.5	Hipótesis y Variables	126
2.5.1	Hipótesis principal.....	126
2.5.2	Hipótesis secundarias	126
2.5.3	Variables e indicadores.....	126
2.5.4	Definición conceptual de las variables	128
2.5.5	Operacionalización de Variables	131
2.5.6	Indicadores.....	131
CAPITULO III METODOLOGIA		132
3.1	Tipo y nivel	132
3.1.1.	Tipo.....	132
3.1.2	Nivel	133
3.1.3	Código y nomenclatura UNESCO.....	133
3.2	Diseño de la Investigación	134
3.3	Técnicas de la investigación.....	137
3.3.1	Instrumentos de Recolección de Datos	138
3.3.2	Procesamiento y Análisis de Datos.....	138
3.3.3	Estrategia de prueba de hipótesis	139
3.3.4	Población y muestra	140

3.3.5 Validación de los instrumentos	141
3.3.6 Técnicas de análisis e interpretación de la información	142
3.3.7 Diseño estadístico	142
CAPÍTULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	144
4.1. Resultados y Análisis Comparativos	144
4.2 Graficas resultantes de la Operacionalizacion de variables:	154
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	161
5.1 Conclusiones	161
5.2 Recomendaciones.....	163
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	164
ANEXOS	170
ANEXO A: Comparación de resultados de desplñazamientos de losas.....	174
ANEXO B: Descripción del Programa Dinámica 17 para losas.....	174
ANEXO C: Listado del programa Dinámica 17.....	177

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Conocimiento de Spender.....	33
Tabla 2. Tipos de Conocimiento de Boisot	37
Tabla 3. Tipos de conocimiento y criterios para su clasificacion.....	40
Tabla 4. Código y nomenclatura UNESCO.....	133
Tabla 5. Deflexiones en el centro de una losa cuadrada simplemente apoyada Con carga uniforme	144
Tabla 6. Desplazamiento maximo para una losa cuadrada S.A. con carga concentrada...	144
Tabla 7. Desplazamiento maximo para una losa empotrada con carga uniforme	144
Tabla 8 Desplazamiento maximo para una losa cuadrada empotrada con carga concentrada.....	145
Tabla 9. Desplazamiento maximo de una losa circular. S.A.....	145
Tabla 10. Desplazamiento maximo de una losa circular. S.A con material Isotropico.....	145
Tabla 11. Losa cuadrada con carga uniformemente distribuida con variación lado espesor.....	146

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interrelación de procesos – funciones - estructura.....	15
Figura 2. Sistema de llenado de un vaso de agua.	19
Figura 3. Procesos de conversión del conocimiento en la organización	31
Figura 4. Losa con carga repartida perpendicular.	45
Figura 5. Notación y convención de signos para esfuerzos.....	46
Figura 6. Esfuerzos que actúan en la lámina de la losa a una distancia “Z”	47
Figura 7. Convención de signos para las resultantes de esfuerzos.	47
Figura 8. Equilibrio de fuerzas y momentos en un diferencial de losa.	48
Figura 9. Cuerpo elástico que muestra las proyecciones del desplazamiento de algún punto $R(x, y, z)$	50
Figura 10. Diferencial de un cuerpo elástico de aristas dx, dy, dz	51
Figura 11. Proyección del elemento diferencial del cuerpo elástico en el plano X e Y deformada.	51
Figura 12. Deformación de la losa en la dirección del eje x.	52
Figura 13. Curvaturas de la losa en diferentes direcciones	53
Figura 14. Losa simplemente apoyada con carga repartida.....	59
Figura 15. Losa circular con carga repartida	61
Figura 16. Parte de losa la losa circular donde se muestra los esfuerzos internos normales σ_i y esfuerzos cortantes τ_{ij}	62
Figura 17. Muestra las fuerzas cortantes y momentos internos en la losa circular.	62
Figura 18. Losa circular bajo carga concentrada de bordes empotrado.	65
Figura 19. Losa circular simplemente apoyada bajo carga repartida	66
Figura 20. Losa circular bajo carga concentrada de bordes con apoyo simple.	67
Figura 21. Losa con orificio sometida a cargas axiales en sus extremos	69
Figura 22 Losa subdividida o discretizada en n elementos finitos triangulares sometida a 70	
Figura 23 Elemento típico triangular de tres nudos donde se indica las fuerzas y desplazamientos de nudo.....	70
Figura 24 Interpolación gráfica de las funciones de interpolación o forma del elemento... 73	
Figura 25 Estructura con superficies de bordes irregulares.....	79
Figura 26 Dominio con elementos cuadriláteros.....	79
Figura 27 Elemento isoperimétrico cuadrilátero (4 nudos).	80
Figura 28 Elemento isopatamétrico cuadrático de 8 nudos.	82

Figura 29 Elemento isoparamétrico cuadrático de 9 nudos.....	83
Figura 30 Se muestra el diferencial del elemento en coordenadas locales.....	87
Figura 31 Losa subdividida en elementos rectangulares.	84
Figura 32 Elemento finito típico de cuatro nudos con 12 g.d.l.(3 g.d.l por nudo).	90
Figura 33 Discretización de la losa empotrada, por simetría es analizada la cuarta parte y es utilizado para obtener los resultados que se muestran en las Tablas 6. y 7 .	148
Figura 34 Discretización de losas empotradas (por simetria solo la cuarta parte)	149
Figura 35 Discretización de la losa circular simplemente apoyada y losa empotrada (por simetría solo la cuarta parte).....	150
Figura 36 Deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	154
Figura 37 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada simplemente y apoyada en carga concentrada por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	154
Figura 38 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga uniformemente distribuida por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	155
Figura 39 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga uniformemente distribuida por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	155
Figura 40 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga concentrada por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	156
Figura 41 Desplazamiento máximo de la losa circular simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida con elementos 5Q9 por el Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	156
Figura 42 Desplazamiento máximo en el centro de la losa circular simplemente apoyada con carga concentrada con tipos de elementos 5Q9 por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	157
Figura 43 Desplazamiento máximo en el centro de la losa circular empotrada con carga uniformemente distribuida con elementos 5Q9 por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	157

Figura 44 Deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4, lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	158
Figura 45 Esfuerzos en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4 lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	158
Figura 46 Esfuerzos en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4 lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.....	159
Figura 47 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada con carga puntual realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 9 (Tesis).....	159
Figura 48 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 8 (Tesis).....	160
Figura 49 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga concentrada realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 9 (Tesis).....	160

RESUMEN

La investigación está basada en el desarrollo y aplicación del Método de los Elementos Finitos a problemas de construcción de losas diversas, sometidas a cargas de resistencia específica.

Inicialmente se describe los diferentes tipos de usos de las losas y expone su gran importancia que juega dentro de las estructuras de la construcción de losas.

En el análisis de construcción de las losas por flexión y deformación por corte, se plantean ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y las relaciones de esfuerzo - deformación en coordenadas cartesianas y polares. Luego estas ecuaciones constitutivas se utilizan para casos específicos de losas, para obtener las respuestas aproximadas, por ejemplo de desplazamientos, mediante series de Fourier.

Se explica en forma general el Método de los Elementos Finitos y su aplicación en estructuras variadas. Así como la utilización de dicho método para el tratamiento de construcción de losas que pueden ser de espesor variable, de forma geométrica irregular y de materiales orto trópicos. Para el dominio de la losa discretizada se describe el uso de elementos isoperimétricos rectangulares de 4, 8 y 9 nudos.

En la formulación de la matriz de rigidez del elemento losa, por el Método de los Elementos Finitos, se explica el uso del cálculo de variaciones sobre las ecuaciones que gobiernan a la teoría, de losas y se aproxima mediante métodos numéricos.

Se expone el desarrollo de secuencias algorítmicas para losas, mediante programas por computadoras de una manera eficiente, utilizando un menor número de variables en la entrada de datos (generación automática de nudos, elementos, etc.) y en forma explícita la salida de resultados de: coordenadas de nudos, propiedades de los elementos, estados de carga, desplazamientos y esfuerzo.

Palabras claves: Método; flexión, algoritmo; Elementos Finitos; estructuras de losas, resistencia, desplazamiento, deformación por corte, matriz de rigidez.

ABSTRACT

The research is based on the development and application of the Finite Element Method to construction problems of different slabs applied to specific resistance loads.

Initially, it describes the different types of uses of the slabs and expose their great importance that plays within the structures of the construction of slabs.

In the analysis of the construction of the parts by bending and shear deformation, equations of equilibrium, compatibility and the stress - strain relationships in the Cartesian and polar coordinates are included. Then, these constitutive equations are used for specific cases of slabs, to obtain approximate answers, for example, displacements, by means of Fourier series.

The Finite Element Method and its application in various structures are explained in a general way. As well as the use of said method for the treatment of the construction of the elements that can be of variable thickness, irregular geometric shape and, isotropic and orthotropic materials. For the domain of the discretized slab, the use of square, quadratic and isoparametric rectangular elements of 4, 8 and 9 nodes are described.

In the formulation of the stiffness matrix in the slab element, in the Finite Element Method, the use of the calculation of the variations in the equations that govern the theory, the data and is approximated by numerical methods is explained.

The development of algorithmic sequences for slabs is exposed, through the efficient use of a computational mathematical algorithmic program, using a smaller number of variables in the data entry (automatic generation of nodes, elements, and so on.) and explicitly output the results of: coordinates of nodes, properties of the elements, loading states, displacements and stress.

Keywords: bending method, algorithm; Finite elements; Slab structures, resistance, displacement, shear deformation, stiffness matrix.

RESUMO

A pesquisa é baseada no desenvolvimento e aplicação do Método dos Elementos Finitos para problemas de construção de diferentes lajes aplicadas a cargas de resistência específica.

Inicialmente, descreve os diferentes tipos de usos das placas e expõe sua grande importância que atua dentro das estruturas de construção das lajes.

Na análise da construção das peças por flexão e deformação de cisalhamento, são incluídas equações de equilíbrio, compatibilidade e as relações tensão - deformação nas coordenadas cartesianas e polares. Então, estas equações constitutivas são usadas para casos específicos de lajes, para obter respostas aproximadas, por exemplo, deslocamentos, por meio de séries de Fourier.

O Método dos Elementos Finitos e sua aplicação em várias estruturas são explicadas de maneira geral. Assim como o uso do dito método para o tratamento da construção dos elementos que podem ser de espessura variável, forma geométrica irregular e materiais isotrópicos e ortotrópicos. Para o domínio da laje discretizada, são descritos os elementos retangulares quadrado, quadrático e isoparamétrico de 4, 8 e 9 nós.

Na formulação da matriz de rigidez no elemento laje, no Método dos Elementos Finitos, é explicado o uso do cálculo das variações nas equações que governam a teoria, os dados os dados são aproximados por métodos numéricos.

O desenvolvimento de seqüências algorítmicas para lajes é exposto, através do uso eficiente de um programa computacional algorítmico, utilizando um número menor de variáveis na entrada de dados (geração automática de nós, elementos e assim por diante) e explicitamente produzindo os resultados de: coordenadas de nós, propriedades dos elementos, estados de carga, deslocamentos e tensão.

Palavras-chave: Método; flexão, algoritmo; Elementos Finitos; Estruturas de laje, resistência, deslocamento, deformação de cisalhamento, matriz de rigidez.

INTRODUCCION

La presente investigación contiene el desarrollo de métodos para el análisis de la construcción de losas por el método algorítmico de los elementos finitos.

Las losas pueden ser de espesores variables, de materiales diferentes, con condiciones de borde variados, de tipología diferentes de carga y de resistencia específica; bajo estas consideraciones el comportamiento estructural de las losas son muy complejas, desde el siglo pasado se han formulado y analizado las losas en forma clásica con el uso herramientas matemáticas muy complejas para cada caso particular.

En la presente investigación se expone la teoría de la formulación clásica de las losas en forma particular, usando las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y condiciones de contorno mediante series de Fourier para obtener de forma puntual los esfuerzos y deformaciones. Además contiene una fórmula general de las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y leyes constitutivas de esfuerzo-deformación para todo el dominio o región de la losa, discretizando en un número finito de elementos y aplicando todo los parámetros y condiciones de requerimiento en los elementos, usando el potente método de los elementos finitos para poder hallar los desplazamientos y esfuerzos con resistencia específica.

El presente trabajo de investigación desarrollado tiene una estructura de contenido como se indica a continuación:

Capítulo I: Contiene el planteamiento del problema, descripción y formulación del problema, objetivos, fundamento, justificación importancia y delimitaciones.

Capítulo II: Contiene las Bases Teóricas: Marco Teórico, Filosófico, Tecnológico, Marco Conceptual, las hipótesis y variables, con la definición conceptual. Así como la formulación de las ecuaciones básicas de la teoría de losas que son: de equilibrio, de compatibilidad, las relaciones de esfuerzo - deformación.

Capítulo III: Metodología de Investigación contiene: tipo y nivel de la investigación, diseño, universo y muestra; procedimiento de recolección de datos, instrumentos y técnicas, y la parte operacional de las variables.

Capítulo IV: Contiene los resultados de la investigación, cuadros estadísticos y tablas; análisis y presentación de los métodos clásicos de análisis para resolver losas con diferente condición de borde; se explica muy concretamente el método general de los elementos finitos para generar la matriz de rigidez

Capítulo V: Contiene Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Al estudiar los elementos estructurales comúnmente presentes, las losas se encuentran en estos elementos en las que el comportamiento de ciertos detalles no se logra comprender apropiadamente, (Donaire-Ávila & Benavent-Climent, 2012) más aún lograr soluciones numéricas de complejas ecuaciones, las convierte en elementos de gran dificultad a pesar de haberse construido y desde luego diseñado un gran número de losas pero en menor cantidad que otros elementos tales como vigas, columnas u otros (Velilla, Mendoza & Gonzalo, 2012).

El código American Concrete Institute para el Concreto Reforzado, por ejemplo especifica una metodología de análisis más allá de solo procedimientos de diseño, lo que permite hallar desplazamientos, momentos y fuerzas cortantes, presentadas en tablas (Jack C McCormac 2011).

1.1.1. Internacionales

López (2003), en su tesis doctoral “Modelo de elementos finitos para el cálculo de arcos. Validación en estructuras agroindustriales de acero”, Universidad de Castilla-La Mancha, España. Observó que la creciente demanda de infraestructura óptima para carreteras, puentes y toda obra de ingeniería civil, en las que se encuentra una tendencia hacia el empotramiento de los extremos de los arcos de acero, orientando la importancia hacia los esfuerzos longitudinales con la finalidad de contrabalancear, dejando sin importancia a la curvatura de los arcos de acero. En el sector donde se realizó la investigación se encuentra que el uso de

este arco de acero es más bien por cuestión de estética. Otro factor observado son los arcos con relaciones comprendidas entre $1/5$ y $1/10$, recomendando el intervalo $1/6-1/8$ que viene a ser la relación entre flecha y luz.

Al estudiar estos métodos se encuentra el conocido con el nombre de energéticos, en las que en este método intervienen entidades no tangibles orientándose hacia las expresiones fundamentales tales como la compresión, flexión y cortadura. También se encuentra el método de elementos finitos para el estudio de los arcos, desarrollándose el elemento de pórtico plano, modelo en la que se haciendo uso de elementos rectos se busca discretizar el arco, fundamentando su modelo con los aportes de Timoshenko y de Euler-Bernoulli.

El estudio del pandeo global para la obtención de la matriz de rigidez geométrica del arco y para el pandeo no lineal se hace uso de la matemática. Mediante ANSYS (aplicación informática) se calcula el pandeo no lineal de una estructura, encontrando un 15-30 por ciento inferiores a los que se consiguen aplicando el método lineal de los autovalores.

Chica (2008), en su tesis “Consideración de las imperfecciones en el análisis de placas de acero, de secciones armadas de puentes de acero y mixtos, mediante el método de los elementos finitos”, Universidad de Burgos, España. En la que se analiza el diseño de la rigidización de las columnas esbeltas con placas a compresión, en concordancia con el Eurocódigo 3 “Proyecto de estructuras de acero” además de esta metodología el MEF (Métodos de Elementos Finitos) que es un método alternativo a los métodos analíticos del análisis de estructuras que demandan una verificación más profunda.

Al respecto el Eurocódigo 3 proporciona recomendaciones respecto al análisis de placas de acero mediante el MEF en el Anexo C de la Parte 1-5, pero con algunas deficiencias que son notables en cuanto a proporcionar información realista a quienes se dedican al diseño.

Esta investigación se ha revisado las imperfecciones de índole geométrico, provocadas en muchos casos por la tolerancia de fabricación, así como de las tensiones residuales, las cuales en muchas ocasiones se producen debido al proceso de unión de las placas por medio de la soldadura. La investigación financiado por la Comisión Europea se desarrolla en el marco del proyecto COMBRI.

1.1.2. Nacionales

Brito, N. (2017), en su estudio de tesis “Control y seguimiento de los procesos constructivos aplicados a losa flotante y losa postensada para un Edificio empresarial de oficinas, ubicado en la ciudad de Lima”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Se revisó el sustento técnico y principalmente económico, así como la evaluación de los procesos para la construcción de los sistemas de losas, también se evalúa el proceso de las losas flotantes en su construcción para la azotea del edificio. Dicha propuesta incluyó un sistema acústico vibracional, contando con aislantes, una losa flotante, que trabajan en la reducción de ruidos acústicos y vibracionales, motivados por los equipos de bombeo.

Montañez (2015), en su tesis “Comportamiento estructural y diseño de losas macizas de concreto armado en infraestructuras de ingeniería civil”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Empleo los métodos clásicos

simplificados, el de coeficientes (Joint Comité Asce ACI -1940, NTE-060), y el método basado en coeficientes numéricos (tablas de Bares, tablas de Kalmanok, tablas de la PCA y el software SAP 2000) todos ellos diferentes, para poder comparar y diferenciar el comportamiento de la estructura a través de los momentos flectores de las losas, esta infraestructura comprende a la cimentación y a los techos, así como a los muros de contención y de los sótanos, también se incluyó a los tanques sanitarios.

El diseño de las “losas macizas bidireccionales” se aplicó el método de resistencia descrito en la NTE-060 y las recomendaciones del código ACI-350R.

Chávez (2011), en su tesis “Análisis comparativo de sistemas y tecnologías aplicadas a la construcción de losas de estacionamiento”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Se examinó detalladamente las ventajas y desventajas de los procesos nuevos aplicados en la ingeniería civil para la construcción de losas, y que en esta tesis únicamente se estudia las losas de estacionamiento, poniendo especial énfasis en su diseño y construcción, señalando las condiciones óptimas para una construcción de calidad, así también como el uso adecuado de las cuadrillas a emplear en cada uno de los trabajos a lo largo del proyecto.

Finalmente se explica detalladamente cada uno de los pasos en el diseño y desde luego en la construcción de estas losas ya sea sobre terreno o suspendidas.

1.2. Problema

1.2.1. Descripción

Ante los constantes problemas presentados en el sector construcción por las fallas que presentaban las losas y que generaban trastornos operativos y administrativos y en muchos casos hasta problemas judiciales por retraso en la entrega de obras ó

truncamiento en los plazos por la situación que presentaban el uso de las diversas losas estructurales; referente a que no soportaban las resistencias a las que eran sometidas; situación que conlleva a plantearse una solución al problema presentado en la construcción de losas estructurales.

El estado del arte en que se encontraba la problemática de las resistencias de las losas estructurales conlleva a proponer una forma de procedimiento para realizar un análisis detallado del comportamiento del uso de diversas estructuras de losas, tratando de especificar las características a la resistencia sometida o expuesta.

Crear un procedimiento algorítmico para obtener resultados confiables que ayudarán a las empresas productoras o constructoras de losas contar con la información necesaria y confiable para enfrentar los desafíos de la construcción moderna.

El proyecto de investigación considera el modelo matemático algorítmico y el conocimiento resultante como parámetro para la construcción de losas estructurales a las resistencias específicas a las que serán sometidas.

Se explica en detalle los procedimientos que con el uso de los modelos matemáticos algorítmicos se tendrán datos específicos de características y parámetros para la construcción de losas estructurales de acuerdo a cada situación presentada.

Se ha llevado a cabo un desarrollo sostenido en estudios y aplicación de la ciencia y tecnología sobre hechos o datos establecidos con anterioridad, pero pocas veces como en esta investigación ha tenido que proyectarse a las construcciones futuras. Estamos hablando de un horizonte temporal muy difuso que puede comprender cambios y avances tecnológicos en el sector construcción.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema principal

¿Un Método algorítmico matemático de Elementos Finitos proporcionaría datos y características para construir Losas de estructuras diversas, con resistencia específica para ser sometidas a cargas diversas?

1.2.2.2. Problemas secundarios

- ¿Un Método algorítmico matemático de Elementos Finitos resolvería el comportamiento de la construcción de las losas estructurales frente al sometimiento de cargas?
- ¿Un Método algorítmico matemático de elementos finitos mejoraría las características de las resistencias para las diferentes condiciones de borde de las losas estructurales sometidas a cargas?
- ¿Un Método algorítmico matemático de elementos finitos incluiría diferentes datos de diversos materiales para mejorar la construcción de losas estructurales sometidas a cargas?
- ¿Un Método algorítmico matemático de elementos finitos considerará datos de diferentes tipologías geométricas para mejorar características de construcción de losas estructurales sometidas a cargas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un Método matemático algorítmico de Elementos Finitos que induzca al mejoramiento de la construcción de Losas de estructuras diversas, con resistencia específica; para diversos usos de la construcción civil.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar con el algoritmo de elementos finitos parámetros para la construcción de Losas de estructuras diversas, con resistencia específica.
- Mejorar las características y condiciones requeridas de los materiales para la construcción de Losas de estructuras diversas, con resistencia específica.
- Construir losas estructurales de resistencia específica mediante la definición del algoritmo de los elementos finitos basado en la influencia de los diferentes materiales compuestos.
- Definir las diferentes tipologías geométricas que se pueden considerar en el algoritmo de los elementos finitos para la construcción de las losas estructurales sometidas a cargas.

1.4. Fundamento, justificación e importancia

1.4.1. Fundamento

Si bien el comportamiento de las losas se puede expresar por un grupo de ecuaciones diferenciales relativamente simples (Ref. [2]), la solución de éstas resulta muchas veces altamente complicada, por las condiciones de borde. Se han desarrollado muchas técnicas analíticas a fin de obtener soluciones para casos muy simples y en forma individual (Ref. [3]-[11]).

El Método de los Elementos Finitos constituye una herramienta numérica para obtener soluciones al sistema de ecuaciones diferenciales con la virtud de que el método mismo es siempre aplicable para cualquier condición de borde (Ref. [18]-[25]).

El Método de los Elementos Finitos involucra una gran cantidad de procedimientos numéricos por lo que su uso presupone siempre la ayuda de una computadora.

En un programa general para computadora, la información de entrada necesaria incluye la geometría en planta del sistema, las dimensiones de la sección, las propiedades de los materiales y el tipo de carga. La salida de los resultados consiste en: desplazamientos, distribución de los momentos de flexión y torsión, y fuerza cortante.

1.4.2. Justificación de la investigación

1.4.2.1. Teórica

Esta tesis permite conocer la teoría de la aplicación del método algorítmico matemático de Elementos Finitos para construir Losas de estructuras diversas, con resistencia específica, en las ramas de la ingeniería civil como son las losas que conforman las pantallas de los muros de sótano, de los tanques enterrados, de los muros de contención, las cargas que soportan y su posterior análisis.

1.4.2.2. Práctica

La investigación ayudará a resolver un problema real y latente en nuestra actualidad, teniendo implicancias trascendentales en relación a los riesgos que se generan en la ingeniería civil.

1.4.2.3. Metodológica

La presente investigación sirve de guía en el proceso de análisis y diseño de losas de estructuras diversas con resistencia específica, mediante la aplicación del método algorítmico matemático de Elementos Finitos.

1.4.2.4. Social

El propósito de esta tesis es difundir la utilización del Método algorítmico matemático de Elementos Finitos para construir Losas de estructuras diversas, con resistencia específica, aplicación en diferentes infraestructuras de la ingeniería civil, para facilitar la labor profesional de los ingenieros civiles.

1.4.3. Importancia

La importancia de la investigación es obtener conocimientos y la capacidad de expresar lo que se pretende medir, mostrando una realidad frente a los daños estructurales.

Se realizará la investigación considerando que en muchas construcciones las losas estructurales son muy importantes por la función que desempeñan dentro del conjunto estructural, por ende, debe ser analizado y estudiado con profundidad para su comprensión completa.

1.4.4. Delimitaciones de la investigación

1.4.4.1. Espacial

La investigación se desarrollará en el distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad.

1.4.4.2. Temporal

La investigación se desarrollará en un periodo de doce (12) meses durante el año 2018, a través del diseño analítico.

1.4.4.3. Social

Los actores involucrados en la investigación serán:

- El Investigador
- El Asesor y los jurados
- Ejecutivos del área de administración

CAPITULO II

BASES TEORICAS

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Principio de la estructura sistémica de la materia

Este principio se apoya en el reconocimiento de los sistemas como una forma esencial y único de organización y estructuración de la materia en función de los procesos esenciales que realiza. Desde las partículas más pequeñas, sencillas e irregulares y complejas de la materia, notamos una sucesión interminable de sistemas, esto es de los elementos que actúan entre si desempeñando funciones específicas generando enlaces físicos que representan finalmente las estructuras sistémicas básicas, hasta sistemas altamente complejos que se entrelazan entre sí para formar cadenas físicas similarmente complejas y que se comportan como componentes de otros sistemas mucho más complejos para dar inicio a sistemas aún más autónomos de los procesos estocásticos que limitan su desarrollo. Se refiere en este caso del progreso de los sistemas inteligentes.

De la observación directa de los procesos materiales se deducen estos principios y por ende no necesitan de un proceso demostrativo estricto; pero es necesario indicar que para comprender los principios de forma como están indicados ha sido preciso anteladamente definir una orientación en el campo filosófico y asimismo dar una redifinición de esta importante área del conocimiento científico.

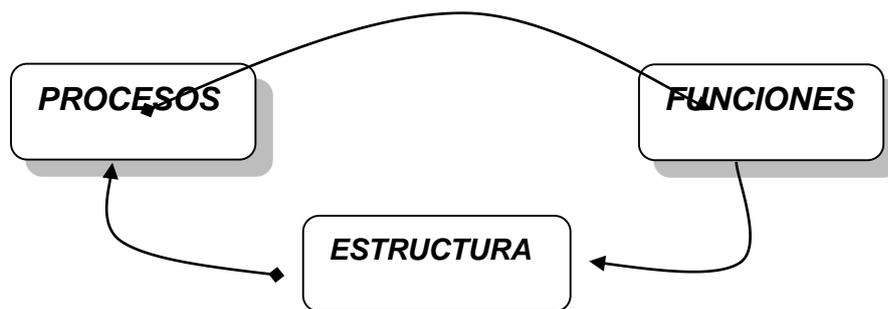
2.1.2. La función y la estructura dependen de los procesos:

Los subsistemas realizan actividades especializadas donde la función interviene para la obtención de los objetivos de los diferentes procesos del sistema en forma secuencial usan las actividades antes citadas.

La estructura es el núcleo del sistema por medio de la cual se muestra sus procesos y las funciones. Las funciones son el flujo de operaciones que efectúa el sistema para alcanzar sus objetivos y los procesos son los flujos de operaciones efectuadas sobre los recursos del sistema.

Bertalanffy¹ dice que la estructura sistémica es el área física y/o el enlace física originado por la interacción de los elementos del sistema. La interacción, además es la forma como se enlazan dichos elementos en ejecución de sus funciones para la obtención de los propósitos generales del sistema. Comprendiéndose en este evento “interacción” la gran conexión entre las distintas funciones otorgadas a los subsistemas y los subprocessos del sistema y definidas por proceso. De esta manera, los procesos son los que determinan las funciones y estas a su vez conforman la estructura del sistema. Tal como apreciamos en el siguiente gráfico:

Figura 1. Interrelación de PROCESOS – FUNCIONES - ESTRUCTURA



Elaboración Propia

Con relación a los sistemas inteligente, la estructura es general y completamente integrada en tiempo real por conductas de información y realimentación

¹ BERTALANFFY, Ludwin Von. Teoría General de los Sistemas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, 1995

constantes y logra un tamaño perfecto debido a que las funciones de los elementos del sistema son preferentes y peculiares.

2.1.3. Teoría General de los Sistemas

Ludwig Von Bertalanffy² también muestra que tiene una importancia fundamental la teoría general de los sistemas. *“Es indispensable estudiar no solo los procesos o partes aislados –indica- si no igualmente encontrar el orden que los unifican y encontrar los problemas concluyentes hallados en la organización como resultado de la integración dinámica de los procesos que realizan el diferente comportamiento de estos que cuando se estudian dentro de todo o de manera aislada. ... Esta correspondencia de principios cognoscitivos globales en distintos campos es mucho más fundamental cuando se conoce que se dieron aisladamente, no mostrándose su intervención de la indagación y labor en campos aparte.”*

“Nos es posible indagar principios aplicables a sistemas en general, sin convenir que sean de naturaleza sociológica, física o biológica... Si proponemos esto y fijamos bien el sistema, encontraremos que existen principios, modelos y leyes que se asignan a sistemas generalizados sin tener en cuenta sus particulares elementos, <<energía>> participantes.”... Modelos, conceptos y leyes similares aparecen una y otra vez en áreas muy diversas, libremente y fundándose en lo realizado del todo diferentes.”³

Da a entender cómo Bertalanffy percibe como un todo los sistemas en el universo, con lo expresado da a entender que el universo en sus segmentos y en su conjunto

² LUDWIG VON BERTALANFFY obra citada. Pp. 31,32,

³ LUDWIG VON BERTALANFFY obra citada. Pp. 32,33

están organizados y estructurados sistémicamente, de allí que la ciencia prescinde de la perspectiva que se le mire perennemente hallará una organización y estructura universal que acaten a las mismas leyes.

“Por ende, un problema primordial planteado a la ciencia moderna es una teoría general de la organización. La teoría general de los sistemas es entendido en someterlos a los análisis cuantitativos y en casos adecuados dar definiciones precisas en similares conceptos.”⁴

Lo que afirma el principio de la universalidad de los sistemas, cabe señalar que Bertalanffy usa implícitamente la estructura de los sistemas que hace referencia en el término organización.

2.1.3.1. El nuevo enfoque de la Teoría General de Sistemas

La definición de Sistemas, que prevalece actualmente y ampliado por casi todas las áreas del conocimiento científico p la formulación de la Teoría General de los Sistemas enunciada por Ludwig V. Bertalanffy que indica: ***“...la Teoría General de los Sistemas, en el sentido más riguroso, que trata de proceder, iniciando de una proposición general de “sistemas” como un conjunto de partes interactuantes, nociones peculiares de totalidades organizadas, de la forma de suma, interacción, centralización, competencia, mecanización, finalidad y otros, y utilizarlos a fenómenos específicos.”⁵***; de esta manera un sumario de las esenciales propiedades de los sistemas, que aceptamos, son propiedades o características fundamentales.

⁴ LUDWIG VON BERTALANFFY obra citada. Pp. 33

⁵ LUDWIG VON BERTALANFFY obra citada. P. 94

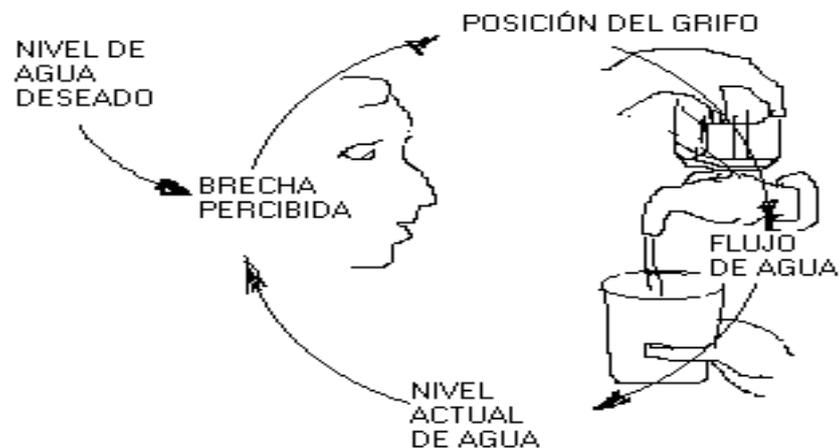
Bertalanffy, también asevera con su conocimiento de las matemáticas avanzadas la naturaleza concluyente de dicha teoría. Del enunciado podemos asegurar entonces, que los sistemas son estructuras funcionales y organizacionales de elementos que interactúan para lograr un fin, mostrando para tal hecho las siguientes propiedades: *Mecanización, globalismo, centralización, competencia, totalidad y otro.*

Para confirmar la comprensión de esta definición formulamos la pregunta: ¿Que es una estructura sistémica? Una *Estructura Sistémica es el enlace y el espacio físico generado por los elementos, interrelaciones y funciones de los elementos del sistema con ello objetamos la existencia de los sistemas sin estructura que puedan sostener las interrelaciones de sus elementos ni el comportamiento de los mismos.*

Es necesario comprender la estructura sistémica para desechar los conceptos de sistemas cerrados o abiertos que confunden los campos de los sistemas, con ello se llega a comprender sistemas altamente desarrollados denominados inteligentes.

En conclusión para perfeccionar el concepto de sistema se debe concretar el concepto de *Organización Sistémica. La Organización Sistémica es el reparto de funciones e interdependientes en concordancia a las necesidades de los procesos que desarrolla el sistema, dirigido hacia el logro de sus objetivos generales y la optimización de los objetivos, conociendo como elementos del sistema, sin individualizar las componentes del sistema, si no, como subsistemas organizados y estructurados que realizan objetivos y funciones relacionados con el objetivo global del sistema.*

Considerando el ejemplo del proceso del llenado de un vaso con agua que enuncia Peter Senge.⁶ El sistema está conformado por un subsistema inteligente con una suficiencia de autorregulación por medio de un sistemas de emisiones (neurotransmisores y neuroreceptores) de mecanismos de accionamiento que permiten controlarla apertura y cierre de las válvulas para el llenado de agua; además tenemos como elemento del sistema el subsistema de dotación de agua a la red de abastecimiento. Por lo expuesto el subsistema está estructurado de tal manera que optimiza el control de la válvula con la finalidad del nivel del llenado de agua. El ciclo físico realizado por la interacción de estos dos subsistemas primordiales, se muestra en la figura.



Elaboración Propia

Ciertamente, este ejemplo mostrado es un sistema funcional y simple para realizar este mecanismo de llenado cuantas veces sean requeridas. Por otra parte nos cuestionamos: ¿Qué sucedería si la válvula del control del llenado no estaría a la distancia del receptor? Supongamos a unos determinados metros, esta acción generará que el receptor y la estructura

⁶ PETER M. SENGE. Ob. Citada pp. 99-103

del sistema sea diferente. Demostrando así que la estructura del sistema depende de los patrones de conducta de los elementos.

2.1.4. Sistemas Anacrónicos o Incongruentes

Los sistemas estáticos son sistemas con estructuras anacrónicas o incongruentes, en espacio y tiempo.

La incongruencia se exhibe entre la estructura y los procesos que establecen funciones defectuosas. Esto se genera debido a una inadecuada definición de los procesos que desarrolla el sistema y generando en estructuras anacrónicas.

Los sistemas anacrónicos son esencialmente organizaciones sociales donde la colisión entre la organización y estructura es constante. Los moldes de conducta provenientes de estructuras anacrónicas encontrándose continuamente en contradicción con los objetivos del sistema, por causa a que las estructuras elaboradas en concordancia a las necesidades de los elementos de la organización y no en función de los objetivos y procesos primordiales del sistema, de esta manera, la conciencia de la pretensión se impone sobre la racionalidad y genera estructuras a la medida de dicha pretensión teniendo como desenlace un conflicto constante en el contexto.

De esta manera los sistemas anacrónicos estilan tener una disfunción o inconsistencia estructural con relación a los objetivos generales del sistema en forma constante que genera estados de ineficiencia funcional desde la perspectiva organizacional. Se debe entender por *disfunción estructural* como una estructura que se tergiversa de las funciones y procesos del sistema produciendo modelos de conducta que conllevan a los estados de trivialidad y generando inconsistencia con el poder informal de la organización. La inadecuada práctica del poder

informal se fundamenta en la creación de grupos informales para la obtención del manejo del sistema que son cualidades inherentes a los sistemas anacrónicos, la inadecuada práctica del poder informal se retroalimenta en la alteración estructural avalando en el tiempo la permanencia de los grupos informales.

En el sistema anacrónico predomina el dominio de la conciencia sobre la materia porque emergen en el proceso de la actuación entre seres humanos con su medio para ello debe de existir la predominancia de la interacción subjetiva sobre los sujetos y objetos que tienen realidad física (materia).

Senge dice: “La mayor parte de las dificultades que afronta la humanidad se vinculan con nuestra incompetencia para manejar y aprehender sistemas cada vez más complejas de nuestra orbe”⁷. “Esta ineficiencia del manejo de los casos complejos y del entendimiento hace que las organizaciones obtengan estructuras supeditadas a sus problemas esenciales, conduciéndose a soluciones poco consistentes que fortalecen al corto plazo y debilitan en el largo plazo, y estimulando la participación sobre nuevos síntomas”⁸.

Este nuevo pensamiento del mundo involucra ver integrado totalmente y sin elementos separados, fenómenos en constante cambio, movimiento e interacción entre ellos, involucra observar la naturaleza real de los procesos materiales de la naturaleza opuesta fundamental y negación constante para permitir estados evolutivos en los procesos continuos de cambio.

El nuevo pensamiento del mundo está en constante evolución dialéctica y sistémica del mundo, esto es del mundo en persistente cambio, movimiento y de

⁷ PETER M. SENGE La Quinta Disciplina p. 24

⁸ Ídem p 25

la conformación sistémica de la estructura, transformaciones de la naturaleza, los hombres de la ciencia son irradiados con el nuevo pensamiento sistémico.

Con el pensamiento sistémico y de la inteligencia global es posible generar la unidad de la ciencia.

El progreso de la inteligencia colectiva, necesita de un apoyo estructural que es el sistema inteligente configurado por subsistemas que alcanzan autorregulación, autocontrol y autogeneración estructural independientes. Un sistema inteligente se puede definir como un sistema con estructura, conciencia y organización de elevada sensibilidad y de gran integración que le faculta responder oportuna y adecuadamente frente a las interacciones del medio y se sostiene bajo el principio de la optimización de sus elementos. El mundo contemporáneo tiene la perspectiva de construir sistemas sociales sobre la base de sistemas inteligentes.

2.1.5. El Conocimiento.

2.1.5.1. Concepto de conocimiento

El término conocimiento se proviene del latín, *Colligere* y *Gnosis* significa las relaciones y propiedades de las cosas, lo que es un objeto y *Colligere* significa asir, agarrar, coger o tomar un objeto. Se puede comprender por conocimiento el de tomar como suyo las propiedades y relaciones de las cosas, saber lo que son y lo que no son de las mismas y tener la perspicacia, en otra manera, juicio por medio de discernir y establecer la diferencia que hay entre las cosas.

De lo expuesto, el conocimiento se puede dividir en dos partes:

- El sujeto que tiene la intención de hacer lo suyo el saber.

- El objeto propiamente dicho, con sus relaciones y propiedades que deseamos conocer.
- Similarmente en la época antigua, los griegos dividían el conocimiento en dos:
 - La Sofía.
 - La Gnosis.

La Sofía, es la sabiduría y el conocimiento de los valores y principios al entender que hacer las cosas.

La Gnosis, en cambio es el conocimiento técnico científico, con ello nos permite, construir, fabricar, progresar e inventar.

De lo expuesto con la Gnosis podríamos construir un armamento nuclear y con la Sofía nos muestra alternativas de disparar en el tiempo y lugar.

En el léxico de la lengua castellana precisa el término conocimiento de la forma: “El resultado o producto de ser culto o instruido. El conjunto de cosas que están contenidas de la ciencia o sobre las que se entiende”.

Con las definiciones expuestas, se admite que la existencia del conocimiento es intrincado de observar y disminuye su asistencia a la detección de sus resultados posteriores.

2.1.5.2. El Conocimiento en el contexto organizativo.

El concepto de conocimiento dentro de las organizaciones, para dar un acercamiento a su comprensión, establece varias definiciones con la ayuda de la información y del aprendizaje:

A. Definiciones.

“El conocimiento es interacción “del saber hacer”, experiencia, información, valores que sirve como marco para la admisión de nuevas informaciones, experiencias siendo necesario para la acción. Se gesta y aplica en la mente de los erudites”, Davenport y Prusak (2001)⁹. En las organizaciones con frecuencia no sólo se encuentra dentro de documentos o en las organizaciones con regularidad no solo se encuentra en los almacenes de datos o documentos, también se encuentran en rutinas organizativas, prácticas, normas y procesos. “El conocimiento es la capacidad de resolver un determinado conjunto de problemas con una efectividad determinada”, Muñoz Seca y Riverola (1997)¹⁰.

“El conocimiento es un proceso humano dinámico de justificación de la creencia personal en busca de la verdad”, Nonaka y Takeuchi (1995)¹¹.

“El conocimiento es lo que el conocedor sabe; no hay conocimiento sin alguien que lo conozca”, Fahey y Prusak (1998)¹².

“El Conocimiento puede ser contemplado como un acto de creación o construcción creativo, no universal y dependiente de la percepción humana de la realidad”, Von Krong (1998)¹³.

“El conocimiento es lo que ya se sabe o se conoce”, Grant (1996)¹⁴.

⁹ Davenport, Thomas H y Prusak, L. (2001). *Conocimiento en acción*. Prentice Hall.

¹⁰ Muñoz, B.; Riverola, J. (1997). *Gestión del Conocimiento*. Biblioteca IESE de Gestión de Empresas, Universidad de Navarra, Folio, Barcelona.

¹¹ Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, Oxford.

¹² Fahey, L. y Prusak, L. (1998). *The eleven deadliest sins of Knowledge management*. California Management Review nº 40.

¹³ Von Krong, G. (1998). *Care in Knowledge creation*. California Management Review nº 40.

¹⁴ Grant, R.M. (1996). *Dirección Estratégica. Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Civitas, Madrid.

B. Características y propiedades.

Del estudio de las definiciones del conocimiento podemos resumir las partes esenciales de sus propiedades y características tales como:

1. El conocimiento es personal, de tal forma que se genera y queda en las personas, que lo incorpora como producto inherente de su experiencia (es decir, de su peculiar “hacer”, que puede ser intelectual o físico) y lo asimila a su bagaje personal estando “convencidos” de su implicancia y acepciones vinculados como una unidad organizada que da significado y estructura a sus varias “piezas”, Andreu y Sieber. El conocimiento existe y es inherente en las personas.
2. El conocimiento se encuentra en constante evolución y puede ser expandido, aumentado, criticado y también puede reiterarse sin que “se extinga” como sucede en otros bienes físicos (Andreu y Sieber). El conocimiento se transmite sin desaparecerse. En esta forma una característica fundamental de los conocimientos es que posibilita ser comprado y vendido con el consiguiente almacenamiento por el vendedor.
3. El conocimiento se incrementa de valor por su empleo inversamente que los capitales físicos pierden el valor con el uso. Con alicientes, el conocimiento se incrementa y si se comparte, desde luego, el crecimiento del conocimiento crecerá asintomáticamente.
4. El conocimiento acrecienta su desarrollo por el proceso de aprendizaje. A través del aprendizaje que es la habilidad mental que por medio de la cual adquirimos hábitos, se genera el

proceso del desarrollo del conocimiento. De esta manera la gestión del aprendizaje es una constante muy importante para una gestión eficaz del conocimiento. El proceso de aprendizaje es una herramienta para retroalimentar individual, personal y que está condicionado a las aptitudes y experiencias de cada individuo.

5. El conocimiento posee un carácter no tangible y ambiguo generándose contradicciones correspondientes con los términos. Para poder ejecutar será conveniente convertirlo en tangible y visible, Cole (1998)¹⁵.
6. El conocimiento es intocable excepto que esté plasmado en documentos o esté encajado en rutinas, procesos o redes de la organización. Si se almacena en la mente de los individuos, si éstos evolucionan el conocimiento también se transforma.
7. Existen formas de entender el conocimiento especialmente en la forma de entender del colectivo, basados en la práctica, presentado en la mayoría de las veces mayor dificultad de ser expandido o de cambiar, Brown (1998)¹⁶.
8. Para ser conocimiento debe estar contextualizado, contar con un tiempo propio y un lugar para que pueda ser conocimiento caso contrario es solamente información.
9. Se podría decir que el accionar de las personas se encuentra motivado por el conocimiento antiguo de cada sujeto, de esta

¹⁵ Cole, R.E. (1998). *Introduction*. California Management Review n° 40.

¹⁶ Brown, J.S. y Duguid, P. (1998). *Organizing Knowledge*. California Management Review n° 40.

amara se puede generalizar diciendo que el conocimiento guía el accionar de las personas.

10. Si bien es cierto el conocimiento presenta un bajo costo en su difusión, es más, el conocimiento no es posible evitar su difusión, pero contrariamente es de alto costo generarlo.

11. Al ser una característica del conocimiento el de ser difícil evitar su difusión, entonces es muy difícil su protección, circulando en las redes y medios con mucha holgura y facilidad propia del conocimiento, Drucker (2005)¹⁷.

12. Para facilitar, estimular, crear y ampliar la formación de conocimiento es necesario la existencia de una estructura organizativa adecuada. El diseño organizativo debe estar basado en la información.

2.1.5.3. Tipos de Conocimiento.

Al revisar la literatura se encuentra gran cantidad de tipos, y cada uno con diferentes clasificaciones en cuanto se refiere al conocimiento, es así que al respecto podemos citar:

A. Según la naturaleza del conocimiento

En la literatura científica cuando se trata del conocimiento y su gestión, es esta clasificación la que aparece en múltiples ocasiones.

¹⁷ Drucker, P.F. (2005). *La productividad del trabajador del conocimiento: máximo desafío: Gestión del capital humano*. Harvard Deusto.

Encontrando los siguientes factores de la naturaleza del conocimiento:

El conocimiento explícito, cuya característica es ser de fácil comunicación, ya sea por medio de una fórmula puesta a una determinada comunidad o mediante un programa de computadora, otra característica es que puede ser representado por el uso de palabras, y símbolos previamente acordados en una comunidad. Pudiéndose encontrarse contenido en dispositivos no humanos o en dispositivos humanos, y en materiales también.

Por otro lado, también se encuentra el conocimiento tácito, este tipo de conocimiento se encuentra en una determinada agrupación (carrera o profesión) es propio de un tipo de persona lo que hace aún más difícil su comunicación a personas que no pertenecen a esta agrupación o sociedad, de especialista que hacen uso de un tipo de conocimiento elaborado y propio de estos individuos. Este tipo de conocimiento cuenta con la dimensión cognoscitiva la cual es de extrema importancia, también es conocido como conocimiento técnico de una clase y esto conlleva a todo el conocimiento acumulado en tiempo pasado lo que hace más difícil el poder comunicar este conocimiento. Finalmente, este tipo de conocimiento también se encuentra en las empresas y en cada uno de sus niveles, tales como lo plantea Cuervo (1989)¹⁸ en los siguientes puntos:

¹⁸ Cuervo, A. (1989). *Bases para el diseño organizativo de la empresa*. Papeles de Economía Española, Número: 39.

- a) En la mente de los individuos: en la empresa se encuentra el conocimiento propio de una área, que les permite desempeñarse eficientemente en una determinada tarea, llevando a la especialización del personal en una actividad y que no son capaces de explicar.
- b) Depositados en grupos de trabajo: este tipo de conocimiento al ser especializado y encontrarse en un área de la empresa, le da distinción en cada área de la empresa de tal manera que permite la especialización tal como se vio en el punto anterior.
- c) Asociados a la empresa en su conjunto: si bien es cierto que cada área tiene un conocimiento especializado, esto en su conjunto permite contener a un conocimiento global que ningún trabajador o integrante pueda abarcarlo únicamente y de manera individual debido a su alta complejidad.
- d) Vinculados a las relaciones de cooperación establecidas con otras empresas: este tipo de conocimiento tiene la característica si bien exige especialización en cada uno de sus áreas, departamento o niveles de la empresa, también exige la formación de redes, a fin de relacionarse y crear a su vez un nuevo conocimiento, ya no como la suma de conocimientos, sino potenciándose cada vez más.

Se encuentra dos dimensiones para el conocimiento tácito, la técnica o conocida en el medio laboral como el saber hacer, y esta dimensión tiene su fundamente en cuanto al ser el conocimiento que exige especialización por cada área o departamento de la empresa.

Mientras que la segunda dimensión de este tipo de conocimiento es la cognitiva y que permite explicar fácilmente el mundo en el que se desenvuelve el trabajador o el sujeto, constando por los esquemas y modelos mentales, así como sus vivencias y creencias, las que se encuentran en cada individuo y que son consideradas con valor de verdad.

Nonaka y Takeuchi (2003)¹⁹ explica que en la empresa puede crearse hasta cuatro formas básicas de creación de nuevo conocimiento:

- 1 De tácito a tácito: esta forma de aprender entre estudiante y maestro, permite al primero de estos adquirir conocimiento mediante la imitación que surge de la observación. Pero a su vez ni el mismo maestro ni el aprendiz pueden sistematizar este conocimiento, lo que hace que nunca sea explícito, por lo tanto, es muy difícil que la organización pueda aprovecharse de este conocimiento
- 2 De explícito a explícito: el individuo perteneciente a una empresa puede echar mano a cada una de las partes del conocimiento de las áreas de la empresa y crear un nuevo conocimiento de manera conjunta, pero no está ampliando la base de donde fue extraído partes del conocimiento para ser formado este nuevo conocimiento-conjunto.
- 3 De tácito a explícito: el conocimiento existente en la empresa cuando pasa por un proceso de formalización a fin de poder ser

¹⁹ Nonaka, I. y Takeuchi, N. (2003). *La empresa creadora de conocimiento*. Harvard Business Review, Gestión del conocimiento.

expresado de manera fácil a los demás niveles y en su conjunto como empresa, entonces el conocimiento tácito ha sido convertido a explícito, pudiéndose recién compartir.

- 4 De explícito a tácito: cuando fue formalizado y ya se encuentra esparcido o a libertad de uso por todas las áreas de la empresa entonces este mismo puede ser usado para ampliarse o modificarse por lo que se convierte nuevamente en tácito.

Una organización o empresa que puede crear conocimiento, usa las cuatro formas del conocimiento mediante un modelo de generación de nuevo conocimiento.

Es un proceso de interacción entre conocimiento tácito y explícito que tiene naturaleza dinámica y continua. Se constituye en una espiral permanente de transformación ontológica interna de conocimiento, desarrollada siguiendo 4 fases que determinan la conversión de conocimiento según Nonaka y Takenchi (1995):

“La socialización es el proceso de obtener conocimiento implícito por medio de compartir experiencia a través de exposiciones manuales, orales, documentos y tradiciones y que acopla el conocimiento novedoso a base grupal que tiene la organización”

“La exteriorización, es el proceso de transformar conocimiento implícito en conceptos explícitos que presume hacer accesible, mediante el uso de metáforas, conocimiento de por sí difícil de comunicar, agrupándolo en la cultura de la organización es la actividad primordial en la creación del conocimiento”

“La combinación es el proceso de gastar conocimiento explícito, procedente de cierto número de fuente, por medio de la reciprocidad de conversaciones telefónicas, correos, reuniones, etc. y si se puede clasificar, categorizar y confrontar para formar bases de datos para generar conocimiento explícito”

“La interiorización, es un proceso inserción de conocimiento explícito en conocimiento implícito, que indaga las experiencias obtenidas en la puesta en práctica de los nuevos conocimientos y que se inserta en las bases del conocimiento lícito de los componentes de la organización en la forma de prácticas de trabajo o de modelos mentales compartidos”.



Figura 3. Procesos de conversión del conocimiento en la organización

Fuente: Nonaka y Takeuchi (1995)²⁰

B. Según el sujeto que aprende y la naturaleza del conocimiento.

Spender (1996)²¹ distingue entre dos tipos de conocimiento, el conocimiento individual y el conocimiento colectivo.

En la empresa los individuos usan y a la vez crean cada parte del conocimiento y mediante el proceso de formalización es puesto a disposición de todos los integrantes de la empresa. Si bien es cierto que estas personas usan el conocimiento, pero también hacen uso de capacidades, valores, creencias para afrontar y convertir situaciones que se presentan en el día a día de la empresa. De tal manera que el “*conocimiento colectivo*” viene a estar conformado por la totalidad de información y a su vez de conocimiento de cada uno de sus integrantes, Zander (1995)²².

Lo principios, la cultura de la organización las experiencias pasadas, incluso hasta las rutinas vienen a conformar el conocimiento colectivo, las que se encuentran difundidas entre los integrantes de la empresa u organización, Matusik (1998)²³. De este último se desprende que en general los problemas colectivos vienen a presentar

²⁰ Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, Oxford.

²¹ Spender, J.C. (1996). *Making Knowledge the basis of dynamic theory of the firm*. Strategic Management Journal, vol. 17 (Winter Special Issue).

²² Zander, U. y Kogut, B. (1995). *Knowledge and the speed of transfer and imitation of organizational capabilities: An empirical test*. Organization Science. Vol.6.

²³ Matusik, S.F. y Hill, C.W. (1998). *The utilization of contingent work, knowledge creation, and competitive advantage*. Academy of Management Review, vol. 23, nº 4.

mayor dificultad para ser resueltos o convertidos que los problemas individuales, Cohen y Levinthal (1990)²⁴.

Esto permite aseverar que cuando una empresa quiere imitar una rutina o un procedimiento que implique un conocimiento colectivo de otra empresa será casi imposible poder concretarlo, con el mismo nivel de eficiencia que la originaria. Esto se debe en la medida que el conocimiento individual es más fácil generarlo por lo que el conocimiento colectivo necesita de procesos mucho más elaborados y esto hace más difícil la tarea.

Spender a partir de las dimensiones tácitos y explícitos y considerando ya sea el campo individual o colectivo se crea la siguiente matriz que da lugar a los cuatro nuevos conocimientos en una empresa u organización, todos ellos completamente distintos, uno del otro:

Tabla 1: *Tipos de conocimiento de Spender*

	Individual	Colectivo
Explícito	Conocimiento consciente	Conocimiento objetivo
Tácito	Conocimiento automático	Conocimiento colectivo

Fuente: Spender (1996)

²⁴ Cohen, W.M. y Levinthal, D.A. (1990). *Absorptive Capacity: A new Perspective on leaning and innovation*. Administrative Science Quartely.

- Conocimiento consciente: este conocimiento es en muchas ocasiones traído por cada individuo a la empresa o en todo caso ser generado por este mismo, por lo que es mucho más fácil su el poder ser compartido, ya que mucho de esto se basa en la experiencia del mismo trabajador por lo que es fácil transmitir a otro trabajador, ya sea de manera formal o informal sería un conocimiento individual y explícito.
- Conocimiento automático: el individuo a lo largo de su vida acumula conocimiento lo que se denomina el saber hacer y al igual que el anterior conocimiento es propio del mismo individuo ya que no es posible ser articulado y comunicado eficientemente.
- Conocimiento objetivo: este conocimiento se compone a raíz de las normas, procedimientos, filosofía de la empresa e influyen en el quehacer del trabajador. También se considera que se encuentra difundido en toda la empresa.
- Conocimiento colectivo: este tipo de conocimiento se encuentra en toda la empresa, es de manejo en general y lo que caracteriza a una empresa de otra, presenta dos dimensiones. Por un lado, una que se representa por la forma en el actuar, en el comportamiento de los individuos en la empresa, la forma en la que resuelven los desafíos y todos los procedimientos que una empresa tiene señalados para el buen desempeño. Este conocimiento tiene a su vez dos aristas una que tiene que ver con la parte operativa y encierra a los

comportamientos y rituales y otra de carácter conceptual, que comprende significados cognitivos, afectivos, simbólicos y culturales.

Esta forma de conocimiento dentro de la empresa tiene que ver dentro de las relaciones sociales, en la interacción de los miembros e individuos de la organización, lo que no es solo mantenido en la colectividad. Por otro lado este conocimiento colectivo pertenece a una organización, lo que da característica a esta y no es posible imitar por otra organización distinta, por lo que es casi imposible su traslado o copia.

Según lo anterior es de gran importancia que los responsables de la conducción de las organizaciones deben de facilitar la generación de este tipo de conocimiento y para ellos poner a disposición los medios necesarios para ser producido, almacenado, generalizado y desde luego usado y cuidado.

Según lo visto se puede deducir que todas las teorías que fortalecen y explican el proceso de la generación, almacenaje, generalización y cuidado de este conocimiento, es de utilidad en cada parte de línea de trabajo de la empresa.

C. Conocimiento basado en su uso

Andreu y Sieber (1999)²⁵: distinguen entre conocimiento externo y conocimiento interno.

²⁵ Andreu, R. y Sieber, S. (1999). *La Gestión Integral del Conocimiento y del Aprendizaje*. Economía Industrial.

- Conocimiento externo, proviene del contacto con los clientes y la reacción de la empresa para satisfacer las necesidades de este, considerando también el entorno en que se desenvuelve la empresa y que de alguna manera entrega oportunidades de desarrollo. También se caracteriza que, al ser formado por influencia externa, se pueda adquirir directamente contratando a un externo, experto que posea este conocimiento que la empresa le urge tener y hacerlo suyo para la conversión de algún problema o posible solución. Por otro lado, la dificultad de este tipo de conocimiento es que al encontrarse fuera de la empresa, difícilmente se puede pretender que este conocimiento va a caracterizar a la empresa, ya que no es de su propiedad sino del experto que fue contratado del exterior, lo que no permitirá diferenciar a la empresa de otras empresas en el ambiente donde se desenvuelven.
- Conocimiento interno, no se encuentra en el entorno y mucho menos en la competencia por lo que es un conocimiento que caracteriza a la empresa y se desarrolla dentro de la misma, lo que da un grado de exclusividad a la empresa y no puede ser imitado por la competencia. , y por eso es muy difícil de imitar. Si bien es cierto es muy importante contar con conocimiento interno pero también es necesario para poder competir eficazmente y con éxito para la empresa, el contar con conocimiento externo para poder generar conocimiento interno.

D. Conocimiento basado en su codificación y difusión

Boisot (1999)²⁶ el conocimiento al ser formalizado permite poder ser difundido de manera más rápida y en su totalidad, a diferencia del conocimiento que se encuentra sin formalizar. Clasificándose de la siguiente manera:

- Conocimiento codificado: este conocimiento ya puede ser presentado a toda la organización para su difusión y uso, lo que permitirá que este conocimiento sea aprovechado sin la posibilidad de perder información en el proceso de la difusión.
- Conocimiento no codificado: este conocimiento aún no puede ser compartido, ni mucho menos almacenado, debido a su poca precisión y por estar en proceso de formación.
- Conocimiento difundido: este conocimiento está compartido con los integrantes de la empresa y con el medio exterior que comprende y en donde se desenvuelve la empresa.
- Conocimiento no difundido: este conocimiento permanece con su creador porque es difícil de emitir o porque el propio individuo decide guardárselo.

A partir de estas dos dimensiones, establece cuatro tipos de conocimiento:

- Conocimiento público: es un conocimiento que se encuentra en los libros del saber cómo en los manuales de procedimientos y estrategias, es fácil de su difusión al encontrarse codificado, la

²⁶ Boisot, M. (1999). *Creación y distribución del conocimiento, La Gestión del Capital Intelectual*. Ediciones Bronce.

ventaja de este conocimiento es que se encuentra fuera de la empresa y al encontrarse bien diseñado es de fácil aplicación y aprovechamiento de su contenido.

- **Conocimiento racional:** este conocimiento se va generando al momento que entramos en interrelación con otros individuos, siendo adquirido a lo largo de la vida. Si bien es cierto es un conocimiento producto de la interrelación, pero se encuentra en menor grado de codificación que el conocimiento público.
- **Conocimiento personal:** este conocimiento se basa en la experiencia acumulada por el individuo a través de su vida, es propiedad del individuo y para poder ser compartido es necesario que se encuentren presentes tanto el aprendiz como el maestro. es particular y difícil de articular.
- **Conocimiento patentado:** este conocimiento se desarrolló para un caso en particular, por lo que no es aplicable para todos los casos en general, pero si puede ser trasmisible con mucha facilidad ya que fue codificado para un individuo o para un grupo específico de individuos de la organización.

En la siguiente figura se representan los tipos de conocimiento según Boisot

Tabla 2: *Tipos de conocimiento de Boisot*

	No difundido	Difundido
Codificado	Conocimiento patentado	Conocimiento público
No codificado	Conocimiento personal	Conocimiento racional

Fuente: Boisot (1999)

E. Conocimiento basado en la facilidad o dificultad de su transmisión y recepción.

Grant et al (1996)²⁷, afirman que se pueden distinguir dos tipos de conocimiento basándonos en la capacidad de transmisión y recepción del mismo:

- El Conocimiento común, que se caracteriza por ser de fácil transmisión y de fácil recepción para todos los miembros de un grupo u organización. También se le denomina conocimiento general, Jensen y Meckling (1992)²⁸. El Conocimiento común es un conocimiento valioso en diferentes actividades y para cualquier individuo. Las empresas son reacias a invertir en su formación, ya que la mayor productividad y valor resultante, sería aprovechable por cualquier otra empresa.
- El Conocimiento específico, que sería un conocimiento que posee un sujeto y en una circunstancia particular. Este conocimiento surge porque hay determinados individuos que poseen informaciones únicas (conocimientos) que le dan ventaja sobre los demás y de la cual se pueden beneficiar. Este conocimiento no es conocido por los otros miembros del grupo o la organización y este conocimiento es costoso y caro de

²⁷ Grant, R.M. (1996). *Dirección Estratégica. Conceptos, Técnicas y Aplicaciones*. Civitas, Madrid.

²⁸ Jensen, M.C. y Meckling, W.H. (1992). *Specific and general Knowledge and organizational structure*. L. Werin and Wijkander (Eds) *Contract economics*, Blackwell, Oxford.

transmitir. Hayek (1948)²⁹ lo denomina como “conocimiento de circunstancias particulares de tiempo y lugar”.

F. Conocimiento sobre elementos independientes o conocimiento sobre interacción de varios elementos

Matusik y Hill³⁰ (1998), establecen un criterio según el cual podemos distinguir dos tipos de conocimiento:

- El conocimiento de componentes, en la empresa es necesario a veces conocimientos que sean manejados por un individuo o en todo caso por un conjunto de individuos para la resolución de un problema o para establecer una acción determinada en una de las operaciones propias de la organización.
- El conocimiento arquitectónico, este conocimiento si bien es cierto es de la organización y la caracteriza distinguiéndola de los demás, es conocido por todo el personal de la empresa. Este conocimiento tiende a relacionarse con todo, manteniéndose en la colectividad de dicha empresa u organización.

G. Clasificación del conocimiento según la O.C.D.E.

La O.C.D.E. (1996)³¹, establece las siguientes clases de conocimiento:

- Know-what, vienen a ser la información que es obtenida en un hecho, esta información es cercana al individuo por lo que el

²⁹ Hayek F.A. (1948). *The Use of Knowledge in Society*. Individualism and Economic Order, Chicago.

³⁰ Matusik, S.F. y Hill, C.W. (1998). *The utilization of contingent work, knowledge creation, and competitive advantage*. Academy of Management Review, vol. 23, nº 4.

³¹ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (1996).

conocimiento se nutre de esto y queda suspendido al individuo que maneja o desarrolla cierta actividad en la organización.

- Know-why, este conocimiento generalmente se adquiere y se elabora en laboratorios por individuos especializados en una actividad. También es conocido como conocimiento de científicos, leyes científicas o normas que rigen la naturaleza ajenas al común entender de los individuos, pero que son aprovechadas por individuos o grupos selectos de individuos.
- Know-how, este tipo de conocimiento está relacionado a las habilidades y destrezas que desarrolla los individuos ya sea de manera personal o en colectivo para hacer una tarea, esta habilidad es mantenida dentro de la empresa, pero que pueden formar asociaciones para compartirlas o para combinarlas y potencializarse mutuamente.
- Know-who, es el conocimiento propio de un individuo o grupo selecto de individuos que se especializan sabiendo cómo hacer algo, esto demanda para ser útil a la organización, de relaciones sociales para poder hacer uso o contar con estos individuos ay apliquen sus conocimientos expertos en un tema específico de la organización a necesidad de esta.

El know-what y el know-why estos tipos de conocimientos pueden obtenerse a través del acercamiento a los textos del saber o sus representaciones ya sea en libros y revistas especializadas. Mientras que el Know-how y el know-who se generan a través de la experiencia práctica. El Know-how es un conocimiento que se

transfiere directamente del maestro al aprendiz, en otras palabras surge como una consecuencia social o en espacios normalizados como escuelas de entrenamiento, o en día a día con la relación entre cliente y vendedor por ejemplo, etc.

Tabla 1: *Tipos de conocimiento y criterios para su clasificación*

Criterio de clasificación	Tipos de conocimiento	Autores
Según su naturaleza.	Conocimiento explícito. Conocimiento tácito.	James W, Polanyi M, Nonaka, I. y Takeuchi, H.
Según el sujeto que aprende y la naturaleza del conocimiento.	Conocimiento consciente. Conocimiento automático. Conocimiento objetivo. Conocimiento colectivo.	Spender, J.C.
Según el uso.	Conocimiento externo. Conocimiento interno.	Andreu, R.y Sieber, S.
Según su codificación y difusión.	Conocimiento público. Conocimiento racional. Conocimiento personal. Conocimiento patentado.	Boisot, M.
Según la facilidad o dificultad para su transmisión y recepción.	Conocimiento común. Conocimiento específico.	Grant, R.M.
Según se trate de conocimiento de elementos independientes o sobre interacción de varios elementos.	Conocimiento sobre componentes . Conocimiento arquitectónico.	Matusik, S.F. Y Hill
Según la O.C.D.E.	Know-what. Know-why. Know-how. Know-who.	O.C.DE.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.4. Elementos que interactúan con el Conocimiento: Datos, Información y Conocimiento.

Existen tres términos que se suelen utilizar de una forma indistinta y cuya diferenciación es crucial para poder entender el papel que cada uno juega. La distinción entre los conceptos de dato, información y conocimiento.

Davenport y Prusa expresan que para comprender la raíz conceptual de la tan mencionada estrategia de gestión e conocimiento es necesario conocer el armazón de esta teoría, sustentándose en dos principios (Pérez, 2003)³²:

- a) Dato, información y conocimiento no son conceptos intercambiables.
- b) La frontera entre los datos, la información y el conocimiento es un espacio continuo difícil de compartimentar.

Si queremos entrar a descifrar el proceso de esta interacción quizás sea necesario primero entender que la información se encuentra libre y en muchos de los casos alrededor del individuo, pero que el conocimiento si se encuentra en un dispositivo y que muchas veces es no humano, como por ejemplo una empresa constituida por individuos especializados cada una en un área diferente lo que entrega a la empresa u organización una capacidad de conocimiento global sobre una tema que es de interés a otra empresa o al mercado donde interactúa esta con su competencia, Boisot (2004)³³.

En términos generales los datos vendrían a ser la materia principal para la información es como la materia prima para la elaboración de un

³² Pérez, J. (2003). *La Era del Conocimiento*.

³³ Boisot, M. (1999). *Creación y distribución del conocimiento, La Gestión del Capital Intelectual*. Ediciones Bronce.

producto en la faja de producción de la empresa industrial. Para ello se define:

A. Datos

Viene a ser las unidades con las que se construirá a lo largo del andamiaje del proceso de del conocimiento, estos datos se encuentran en el entorno a voluntad o no del individuo, por lo tanto, pueden ser útil o no útil a este, careciendo por si solos de un significado real y válido, pero en su conjunto y debidamente procesado muy útil, Bellinger et al (1997)³⁴. Este dato como se vio no tiene más información para explicar algo pero que en unión y después de ciertas operaciones si puede expresar información útil para el individuo de la proceso en bien de una organización o entorno que se beneficiará con esto, Davenport y Prusak (1998)³⁵.

El modelo de Newman (1997)³⁶, en la organización al observar y evaluar los procesos estos arrojan datos, pero tal como tal no sirven en gran medida, a menos que sean procesados estos datos haciendo uso de técnicas y métodos científicos, recién se creará información qua a su vez esta si pueda ser de utilidad para la toma de decisiones en la organización.

B. Información

³⁴ Bellinger,G., Castro, D. y Mills, A. (1997). *Data information, Knowledge and Wisdom*. <http://www.outsights.com/systems/dikw/dikw.htm>.

³⁵ Davenport, T. y Prusak, L. (1998). *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business School Press.

³⁶ Newman, V. (1997). *Redefinig Knowledge management to deliver competitive advantage*. Journal of Knowledge Management, Vol.1 n°. 2.

En el concepto de información, la información existe siempre y cuando sea como producto de una sistematización para el recojo de, Machlup (1983)³⁷. Para Davenport y Prusak, la información viene a ser un producto después de procesar debidamente bajo un método y empleando técnicas estandarizadas, para que recién pueda ser de utilidad para la empresa y así poder nutrirse generando conocimiento. O dicho, en otros términos: este dato o conjunto de datos es de utilidad para un individuo u organización que con esta información pueda convertir una situación. También es necesario aclarar que dicha información, nutrida de datos perteneciente a un contexto, recién se le puede dar valor de verdad o falsedad después de haber sido probado y aplicado a cierto entorno.

Podemos resumir las ideas anteriores a partir del siguiente principio:

Información = Conjunto de datos dotados de significado.

La diferencia entre la información y los datos es que la primera se nutre de los segundos siempre y cuando estos gocen de significado.

Hay varios métodos para transformar los datos en información:

- Contextualizando: los datos solo contienen significado cuando se sabe para qué contexto es que usarán y en qué contexto es que se obtuvieron.
- Categorizando: es cuando el investigador o individuo especializado tiene un acercamiento con la realidad objetiva de donde extraerá el dato.

³⁷ Machlup, F. (1983). *Semantic quirks in studies of information in Machlup*. New York, Jhon Wiley.

- Calculando: los datos para ser estudiados y posteriormente convertidos para obtener información deben ser procesados por medio e técnicas estadísticas empleando el método científico.
- Corrigiendo: las falsas suposiciones, y los posibles errores al momento de extraer los datos son depurados.
- Condensando: los datos son resumidos para una mejor tratamiento y posible orden para su estudio.

El valor diferenciado que pueda tener una empresa deviene del manejo de la información y el saber hacer uso de esta información es lo que realmente otorgara a la organización ventajas a mediano y largo plazo.

C. Conocimiento

Si la información para poder ser otorgada un valor de verdad debe ser consecuencia del tratamiento de los datos por medio de técnicas y métodos. El conocimiento deberá contar con información válida en un contexto para poder ser útil y aplicable por la organización.

Este conocimiento permitirá a la empresa u organización poder tomar decisiones sobre su actuar o implementación de estrategias para fines que crea conveniente dentro del medio donde se desarrolla.

“Conocimiento = Información que es asimilada por un individuo y que le permite actuar”.

2.1.6. Teoría de Losas

El propósito es formular las ecuaciones básicas de análisis de losas, teorías de solución existente y la teoría de solución planteada para losas como el que se muestra en la Fig. 2.1, usando la teoría elástica (Ref. [3]-[II]).

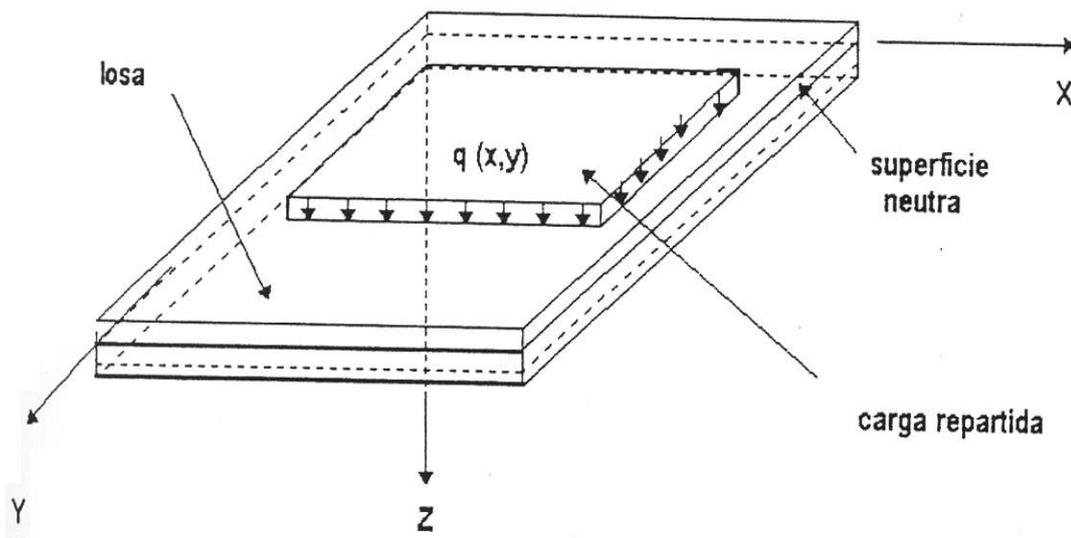


Figura 4. Losa con carga repartida perpendicular.

El análisis de losas planas difiere de los sólidos tridimensionales en que aquéllas tienen una de sus dimensiones mucho menor que las otras dos, lo cual permite hacer las siguientes suposiciones (Ref. [4]):

- Las deformaciones son pequeñas y en consecuencia las fuerzas planares producidas por extensión de la superficie media son despreciables.

- Los esfuerzos aplicados exteriormente a la losa son pequeños comparados a otros esfuerzos en la losa. Como una consecuencia, supondremos que los esfuerzos en la dirección a la losa son despreciables o sea $\sigma_z \approx 0$.
- Una línea normal a la superficie media antes de la deformación, permanece normal a ésta y no existe deformación de la losa. Es decir $\epsilon_z \approx 0$ (hipótesis de Kirchhoff).

2.1.6.1. Ecuaciones de equilibrio de losas

Las ecuaciones de equilibrio para la flexión de losas fueron desarrollado inicialmente por Lagrange (Timoshenko 1983), en 1811.

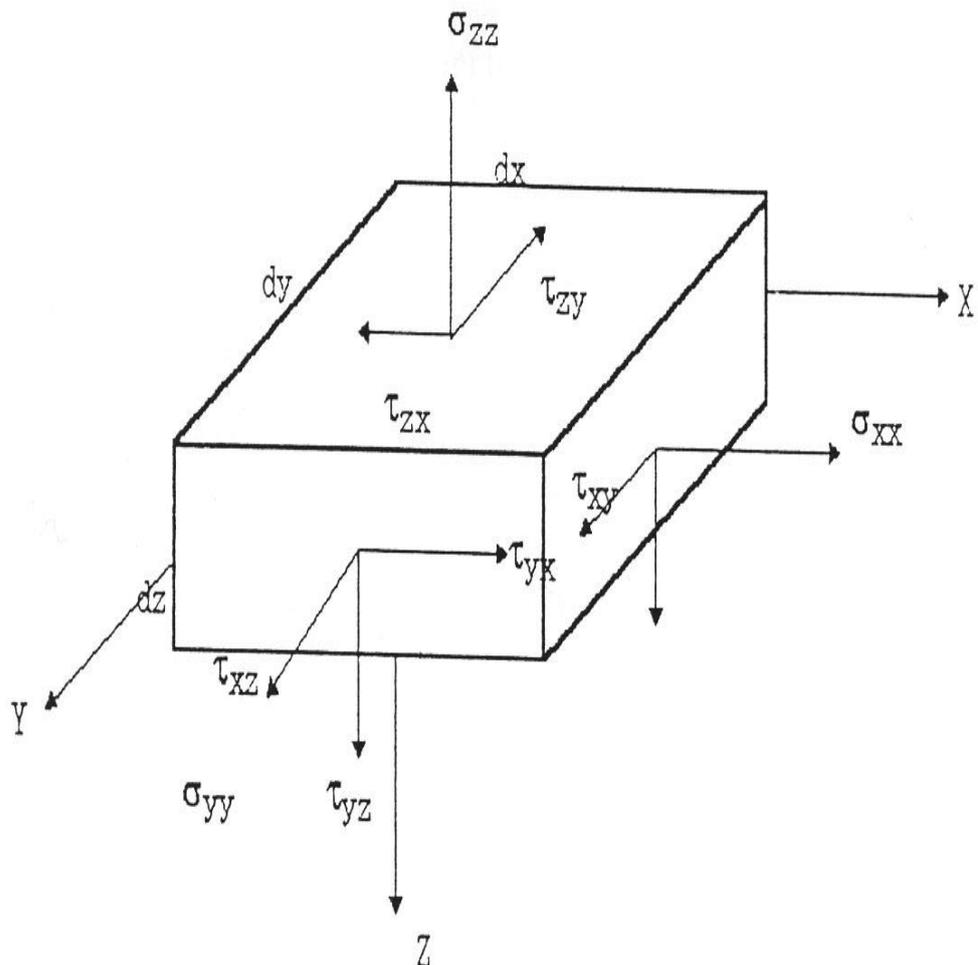


Figura 5. Notación y convención de signos para esfuerzos.

Los esfuerzos normales σ_{ij} y cortantes τ_{yz} se muestran en un diferencial de losa como se muestra en la Fig. 5, en las direcciones respectivas.

Dichos esfuerzos al ser integrados en las superficies respectivas, ver Fig. 6, producen momentos y cortantes (Ref. [11]), utilizando la convención de como se muestra en la Fig. 7, de la forma:

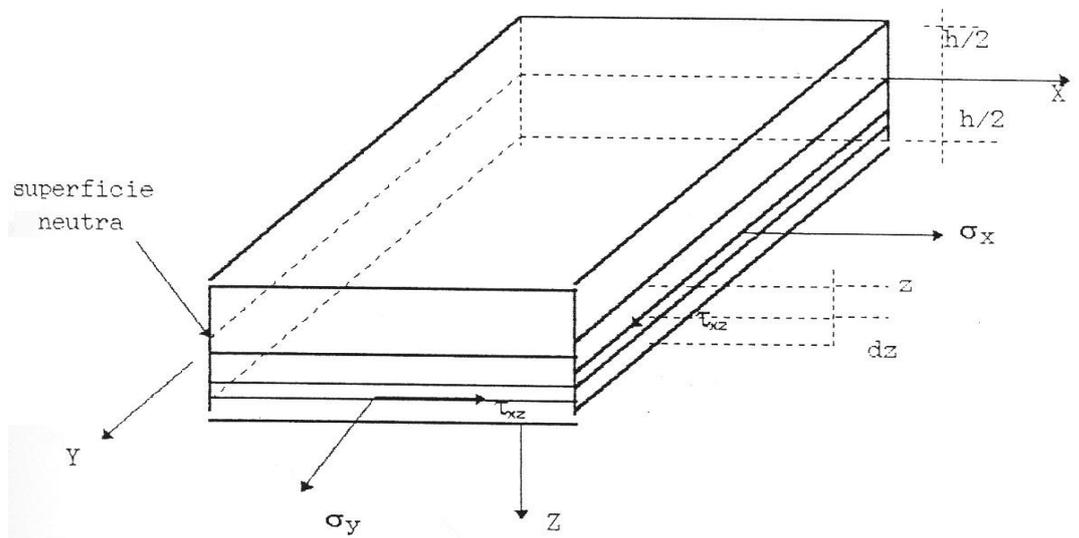


Figura 6. Esfuerzos que actúan en la lámina de la losa a una distancia "Z" de la superficie neutra.

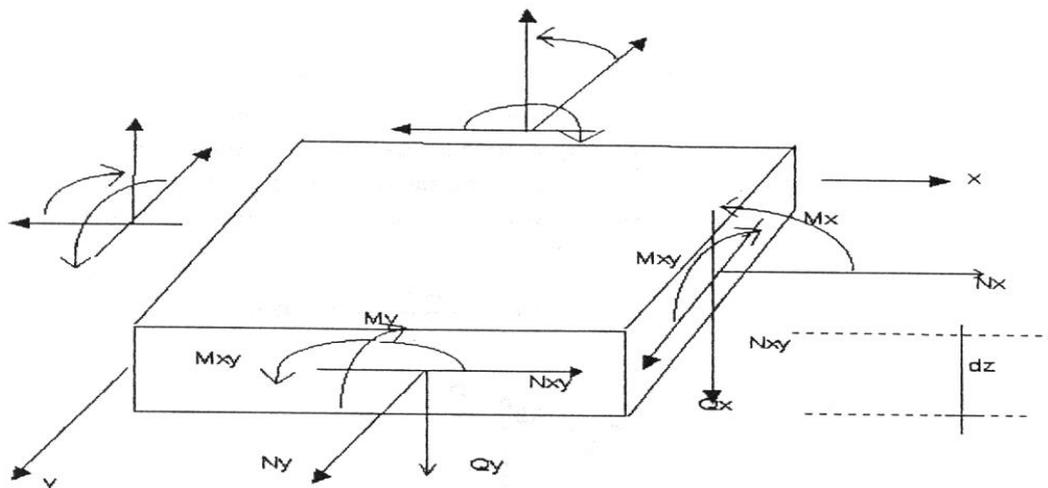


Figura 7. Convención de signos para las resultantes de esfuerzos.

Donde las fuerzas normales N_x y N_{xy} se pueden obtener, son:

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xx} dz \quad , \quad N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{yy} dz \quad , \quad N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dz$$

Al igual que las fuerzas cortantes transversales Q_x y Q_y :

$$Q_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} dz \quad , \quad Q_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yx} dz$$

Y los momentos M_x , M_y y M_{xy} , son obtenidas como:

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} Z \sigma_{xx} dz \quad , \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} Z \sigma_{yy} dz \quad , \quad M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} Z \tau_{xy} dz$$

(2.1)

Nótese que las fuerzas y momentos se dan por unidad de ancho de la losa.

Dichos esfuerzos al ser integrados en las superficies respectivas, ver Fig. 6, producen momentos y cortantes (Ref. [11]), utilizando la convención de como se muestra en la Fig. 7, de la forma:

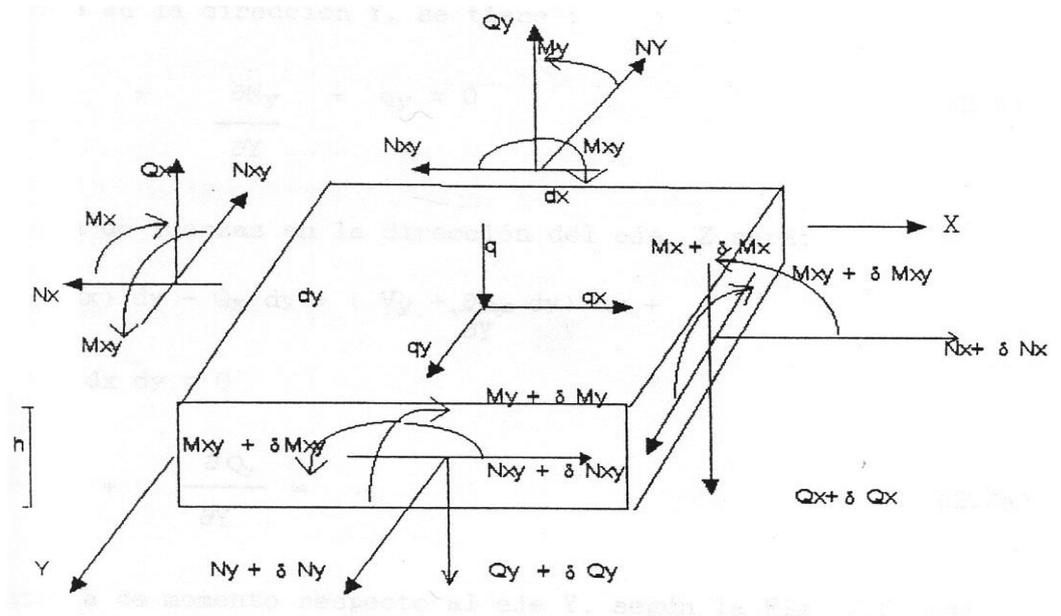


Figura 8. Equilibrio de fuerzas y momentos en un diferencial de losa.

Las ecuaciones de equilibrio se obtienen por el balance de fuerzas y momentos en un elemento diferencial (Ref. [4] y [11]), sometidas a cargas externas “q”, como el que se muestra en la Fig. 8, Así tendremos:

Σ Fuerzas en X = 0

$$\left(N_x + \frac{\partial N_x}{\partial X} dx\right) dy - N_x dy + \left(N_{xy} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial X} dy\right) + N_{xy} dx + q_x dx dy = 0$$

$$\frac{\partial N_x}{\partial X} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial Y} + q_x = 0 \quad (2.2)$$

Similarmente en la dirección Y, se tienen:

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial X} + \frac{\partial N_y}{\partial Y} + q_y = 0 \quad (2.3)$$

La sumatoria de fuerzas en la dirección del eje Z será:

$$\left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial X} dx\right) dy - Q_x dy + \left(V_y + \frac{\partial Q_y}{\partial Y} dy\right) + - Q_y dx + q dx dy = 0$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial X} + \frac{\partial Q_y}{\partial Y} = -q \quad (2.4)$$

La sumatoria de momento respecto al eje Y, según la Fig. 8, es:

$$\left(M_{xy} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial Y} dy\right) dx - M_{xy} dx + \left(M_x + \frac{\partial M_x}{\partial X} dx\right) dy - M_x dy - Q_x dy dx = 0$$

$$\frac{\partial M_{xx}}{\partial X} + \frac{\partial M_{yx}}{\partial Y} = Q_x \quad (2.5)$$

Similarmente, en la dirección del eje X será:

$$\frac{\partial M_{xy}}{\partial X} + \frac{\partial M_{yy}}{\partial Y} = Q_y \quad (2.6)$$

Por otra parte, de estas últimas ecuaciones se pueden eliminar las cortantes y obtener la ecuación de equilibrio en función de los momentos M_x , M_{xy} la carga repartida q , de manera:

$$\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial X^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial Y \partial Y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial X^2} = -q_{(x,y)} \quad (2.7)$$

2.1.6.2. Ecuaciones Diferenciales de Compatibilidad de Losas

Para formular las ecuaciones de compatibilidad (Ref. [5]), se puede usar un sólido tridimensional como el que se muestra en la Fig. 9, donde el punto $R(x, y, z)$ se desplaza a la nueva posición R' , y las proyecciones de éste con respecto a los ejes coordenados son los desplazamientos: $u = f_1(x, y, z)$, $v = f_2(x, y, z)$ y $w = f_3(x, y, z)$, respectivamente.

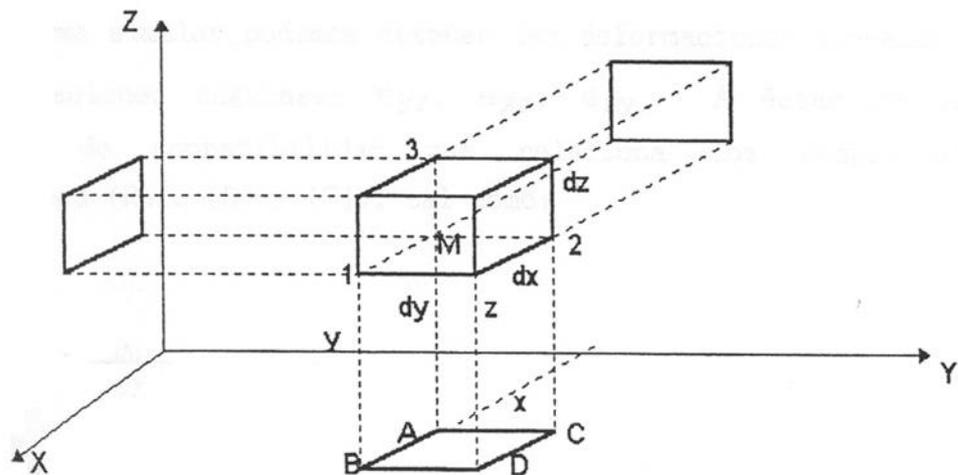


Figura 9. Cuerpo elástico que muestra las proyecciones del desplazamiento de algún punto $R(x, y, z)$.

Del cuerpo elástico de la figura Fig. 2.6, podemos analizar un diferencial de volumen y, por ejemplo, proyectar uno de sus lados en el plano X e Y como se muestra en las Fig. 10 y 11, para obtener el desplazamiento u y su variación δu en la dirección del eje X, de la forma:

$$u + \delta u = u + \frac{\partial u}{\partial X} dx$$

la deformación unitaria ϵ_{xx} en la dirección del eje X, es

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial_1}{dx} = \frac{\partial_1}{\partial X}$$

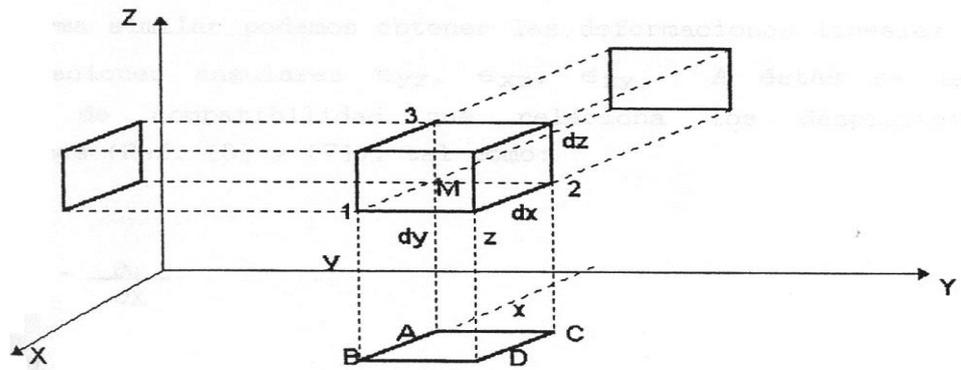


Figura 10. Diferencial de un cuerpo elástico de aristas dx , dy , dz .

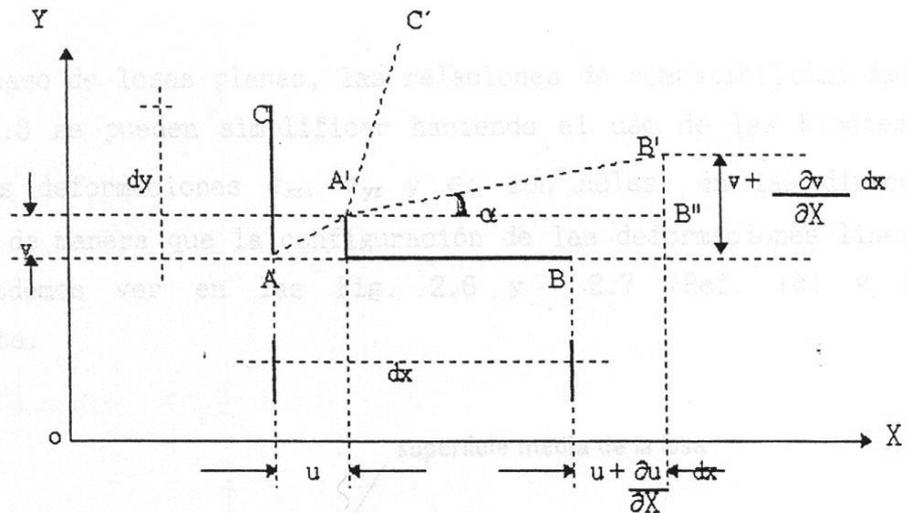


Figura 11. Proyección del elemento diferencial del cuerpo elástico en el plano x e Y y su deformada.

De forma similar podemos obtener las deformaciones lineales ϵ_{yy} , ϵ_{zz} y las deformaciones angulares ϵ_{yz} , ϵ_{xz} , ϵ_{xy} . A éstas se les denomina ecuaciones de compatibilidad que relaciona los desplazamientos y deformaciones (Ref. [5] y [7]), tal como:

$$\begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial X} & \epsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial Y} \\ \epsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial Z} & \epsilon_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} \\ \epsilon_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial X} & \epsilon_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial Y} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Para el caso de losas planas, las relaciones de compatibilidad dadas en la ecuación 2.8 se pueden simplificar haciendo el uso de las hipótesis de Kirchhoff (las deformaciones ϵ_{xz} , ϵ_{yz} y ϵ_{zz} son nulas, en las direcciones respectivas), de manera que la configuración de las deformaciones lineales y curvaturas podemos ver en las Fig. 12 y 13 (Ref. [8] y [11]).

Respectivamente.

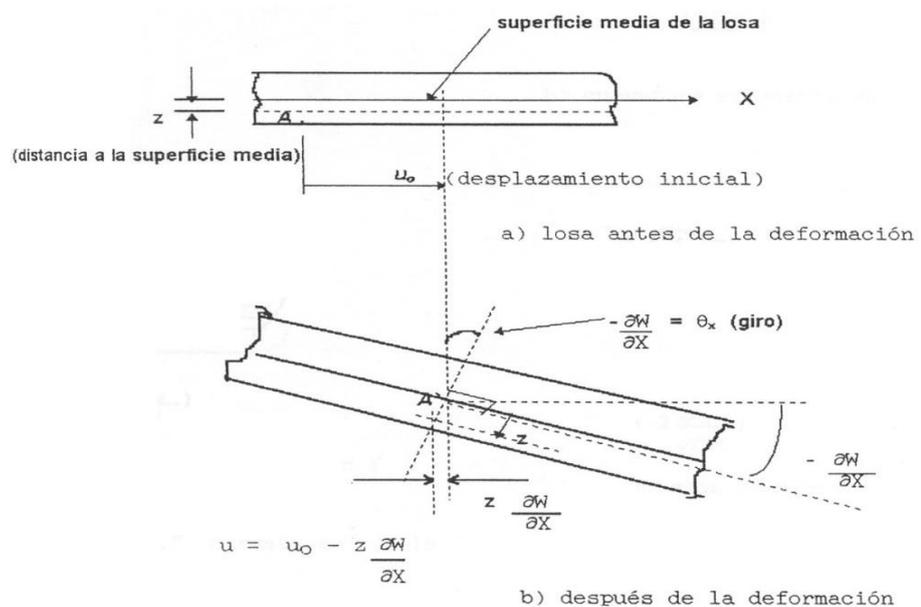


Figura 12. Deformación de la losa en la dirección del eje x.

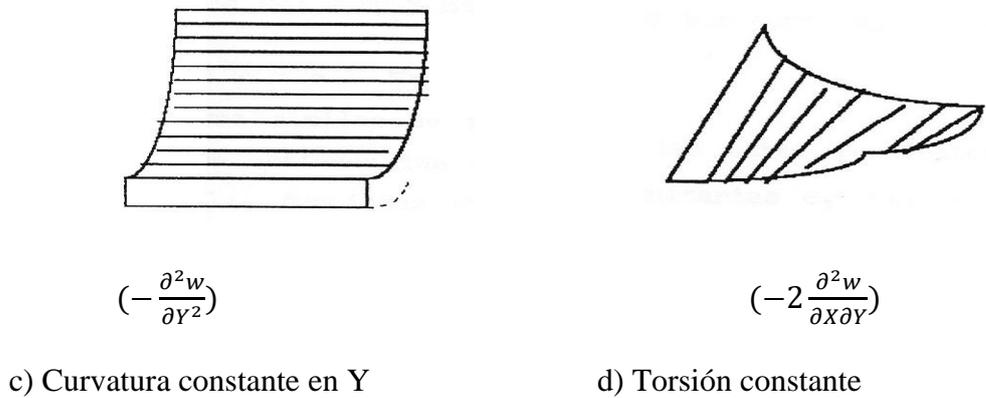
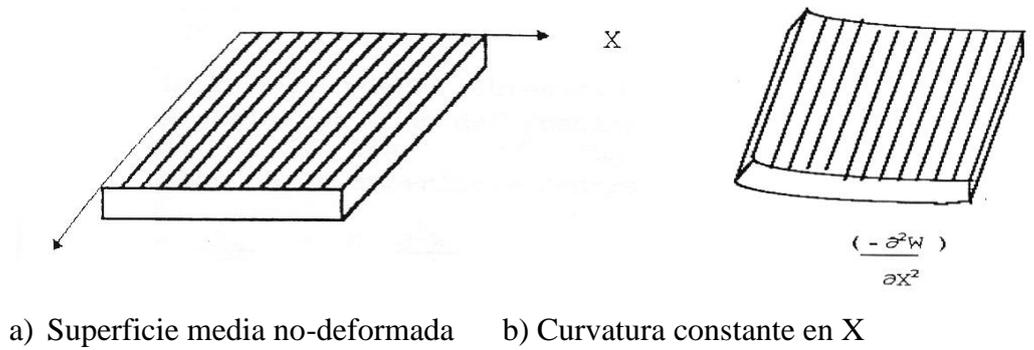


Figura 13. Curvaturas de la losa en diferentes direcciones

Por ejemplo, de la Fig. 9, podemos obtener el desplazamiento u en la dirección X , en función del desplazamiento inicial u_0 y el giro $\partial W / \partial X$, como:

$$u = u_0 - z \frac{\partial w}{\partial X}$$

De forma similar se pueden obtener los otros desplazamientos, y éstas al derivarse se obtienen las deformaciones unitarias ϵ_{ij} . Las deformaciones unitarias $\partial u_0 / \partial X$, $\partial v_0 / \partial Y$, $\partial u_0 / \partial Y$, $\partial v_0 / \partial X$ se deben a los desplazamientos de la superficie neutra. Las deformaciones ϵ_{ij} , están dadas:

$$\begin{aligned}
\epsilon_{xx} &= \frac{\partial u_0}{\partial X} - z \frac{\partial^2 w}{\partial W^2} \\
\epsilon_{yy} &= \frac{\partial v_0}{\partial Y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial Y^2} \\
\epsilon_{xy} &= \frac{\partial u_0}{\partial Y} + \frac{\partial v_0}{\partial X} - 2z \frac{\partial^2 w}{\partial X \partial Y}
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Si se incluye deformación por corte en las losas (Ref. [22]), por ejemplo la pendiente total - $\partial W/\partial X$ en la dirección del eje X, ver Fig. 9, sería la suma del giro θ_x mas la deformación por corte θ_{xz} , como:

$$-\partial W/\partial X = \theta_x + \epsilon_{xz}$$

De forma similar se pueden obtener las otras pendientes, y éstas al derivarse se obtienen las deformaciones unitarias ϵ_{ij} (la deformación ϵ_{zz} es nula). A las funciones $\partial\theta/\partial X$, $\partial\theta/\partial Y$, $\partial\theta_x/\partial Y$, $\partial\theta_y/\partial X$ se les conoce como curvaturas de la superficie según X, Y, XY e YX, respectivamente. Entonces las ecuaciones de compatibilidad para las losas, incluyendo deformación por corte, es de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
\epsilon_{xx} &= \frac{\partial u_0}{\partial X} + z \frac{\partial \theta_x}{\partial X} \\
\epsilon_{yy} &= \frac{\partial v_0}{\partial Y} + z \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \\
\epsilon_{xy} &= \frac{\partial u_0}{\partial X} + \frac{\partial v_0}{\partial Y} + z \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) \\
\epsilon_{xz} &= \theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \\
\epsilon_{yz} &= \theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y}
\end{aligned} \tag{2.10}$$

2.1.6.3. Relaciones de Esfuerzo – Deformación Para Losas de Materiales

Ortotrópicos

Para relacionar los esfuerzos σ_{ij} con las deformaciones ϵ_{ij} se define anteadamente las propiedades mecánicas del material.

Las propiedades mecánicas para losas de materiales ortotrópicos (Ref. [9] y [25]). Tal como los módulos de elasticidad de Young se define como E_{11} , E_{22} y están dadas a lo largo de las coordenadas x e y , respectivamente; módulos de elasticidad de corte se define como G_{12} , G_{13} , G_{23} y están en los planos x - y , x - z e y - z , respectivamente. Los módulos de elasticidad se pueden relacionar como:

$\alpha = E_{11} / E_{22}$ y la relación de Poisson definido por μ_{21} .

Donde las relaciones de esfuerzo - deformación se escriben como:

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= \frac{E_{11}}{1 - \alpha\mu_{21}^2} \epsilon_{xx} + \frac{\mu_{21}E_{11}}{1 - \alpha\mu_{21}^2} \epsilon_{yy} \\ \sigma_{yy} &= \frac{\mu_{21}E_{11}}{1 - \alpha\mu_{21}^2} \epsilon_{xx} + \frac{E_{11}}{\alpha(1 - \alpha\mu_{21}^2)} \epsilon_{yy} \\ \tau_{xy} &= G_{12} \epsilon_{xy} \\ \tau_{xz} &= G_{13} \epsilon_{xz} \\ \tau_{yz} &= G_{23} \epsilon_{yz}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Para losas las rigideces D_{ij} (relaciona las propiedades mecánicas del material), siendo h el espesor, se dan como:

$$\begin{aligned}D_{11} &= \frac{E_{11}h^2}{12(1 - \mu_{12} \mu_{21})}, \quad D_{22} = \frac{E_{22}h^2}{12}, \quad D_{12} = \mu_{12} D_{22} = \mu_{12}D_{11} \\ D_{33} &= \frac{12G_{12}h}{12}, \quad D_{44} = G_{13}h, \quad D_{55} = G_{23}h\end{aligned}\quad (2.12)$$

Relacionado las ecuaciones (2.2), (2.3), (2.10), (2.11) y (2.12) en términos de momentos M_{ij} , cortantes Q_i (Ref. [25]), se obtiene:

$$\begin{aligned}
 M_{xy} &= D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \\
 M_{yy} &= D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{32} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \\
 M_{xy} &= D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) \\
 Q_x &= D_{44} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \\
 Q_y &= D_{55} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right)
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Los esfuerzos normales σ_{ij} y los esfuerzos cortantes τ_{ij} se pueden expresar en función de los momentos y cortantes, utilizando la ecuación (2.13), tal como:

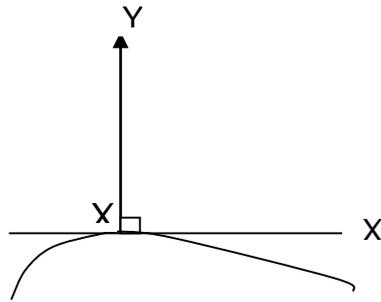
$$\begin{aligned}
 \sigma_{xx} &= \left(D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) * 6.0/(h ** 2) \\
 \sigma_{yy} &= \left(D_{21} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{22} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) * 6.0/(h ** 2) \\
 \tau_{xy} &= D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial X} + \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) * 6.0/(h ** 2) \\
 \tau_{xy} &= D_{44} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) * h/2 \\
 \tau_{xy} &= D_{55} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) * h/2
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Reemplazando la ecuación (2.13) en la ecuación de equilibrio (2.7), se obtienen las ecuaciones en función de la deflexión transversal W , los giros θ_i y la carga distributiva q , como:

$$D_{44} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\theta_x \frac{\partial W}{\partial X} \right) + D_{55} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\theta_y \frac{\partial W}{\partial Y} \right) + q = 0$$

2.1.6.4. Condiciones de Borde Para Losas

Supóngase un punto X_0 en un borde genérico como el que se muestra en la Fig. 11 cuya tangente coincide con el eje X (Ref. [9] y [25]).



Las condiciones de borde posibles son:

Borde empotrado: El desplazamiento vertical y los giros son nulos:

$$W_{x=x_0} = 0$$

Borde simplemente apoyada: El desplazamiento vertical y el momento normal son nulos:

$$W_{x=x_0} = 0$$

$$M_{yy}|_{x=x_0} = 0$$

Borde Libre: El momento normal, el momento torsor y el corte son nulos:

$$M_{yy}|_{x=x_0} = 0$$

$$M_{xy}|_{x=x_0} = 0$$

$$Q_y|_{x=x_0} = 0$$

Los cortantes Q_n y momentos M_n , M_{ns} en los bordes, ver Fig. 14, están expresados en función de sus vectores direccionales η_x y η_y (Ref. [25]), de forma:

$$Q_n = Q_x \eta_x + Q_y \eta_y$$

$$M_n = M_x \eta_x + M_{xy} \eta_y$$

$$M_{ns} = M_{xy} \eta_x + M_y \eta_y$$

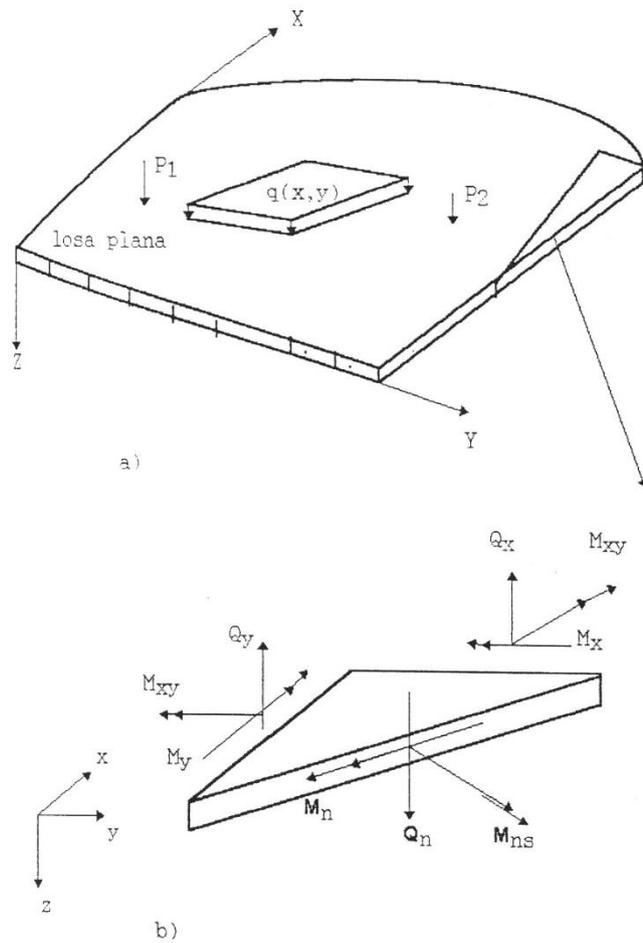


Figura 14. a) Losa con superficie de borde irregular, b) borde de la losa donde se indica las cortantes y momentos, internos y de borde.

2.1.6.5. Análisis de Losas por Métodos Clásicos

Se describe brevemente algunos ejemplos particulares de análisis de losas por métodos clásicos para hallar los desplazamientos y esfuerzos, por ejemplo, como el método de las Series de Fourier.

2.1.6.5.1. Solución de Navier para Losas Rectangulares Simplemente apoyadas

Para hallar la respuesta de desplazamiento y momentos de losas rectangulares simplemente apoyadas con carga repartida uniforme como se muestra en la fig. 15 mediante la Solución de Navier (Ref. [11]), se procede de la siguiente manera:

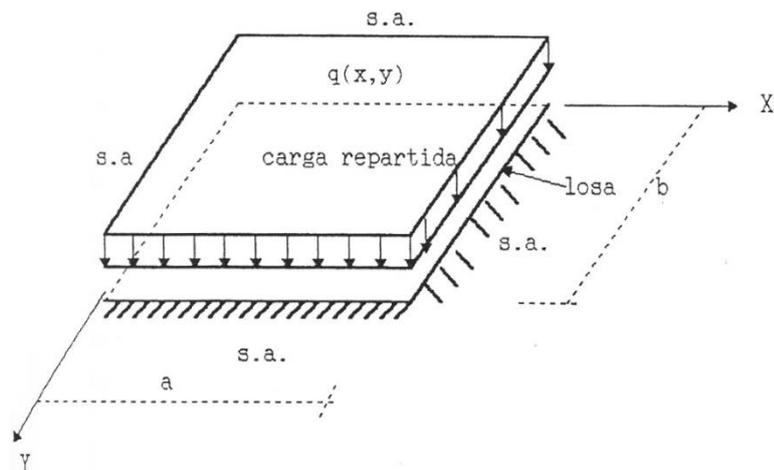


Figura 145. Losa simplemente apoyada con carga repartida

La carga repartida q se puede representar mediante series dobles de Fourier, donde el módulo de la carga está dada por q_0 y se expande la función con $m, n = 1, 2, 3, \dots$, como:

$$q(x,y) = \frac{16 q_0}{\pi^2} \sum_m \sum_n \frac{1}{mn} \operatorname{sen} \frac{m\pi x}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi y}{b}$$

Esta expresión de la carga se puede reemplazar en la ecuación (2.7), que está expresado en función de momentos, y a ésta reemplazamos la

ecuación (2.13), obtenemos la deflexión W en cualquier punto de la losa, donde D es la rigidez a la flexión (para materiales isotrópicos), se obtiene:

$$W = \frac{16q_0 b^4}{\pi^6 D} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{mn} \frac{1}{\left(m^2 \left(\frac{b}{a}\right)^2 + m^2\right)^2} \operatorname{sen} \frac{m\pi x}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi y}{b}$$

Donde:

$$D = Eh^3/12(1-\nu^2)$$

E = módulo de elasticidad de Young

h = espesor de la losa

ν = relación de Poisson

En el caso de losas cuadradas ($a = b$), la deflexión en el centro es:

$$W_{\text{centro}} = 0.0041 \frac{q_0 a^4}{D}$$

El momento en el centro de la losa cuadrada ($\nu = 0$), utilizando la ecuación (2.13), se obtiene:

$$M_x (\nu = 0) = 0.0373 q_0 a^2$$

Para hallar la respuesta de desplazamiento y momentos de losas rectangulares simplemente apoyadas con carga puntual como se muestra en la Fig. 2.13 mediante la Solución de Navier (Ref. [11]), se procede de la siguiente manera:

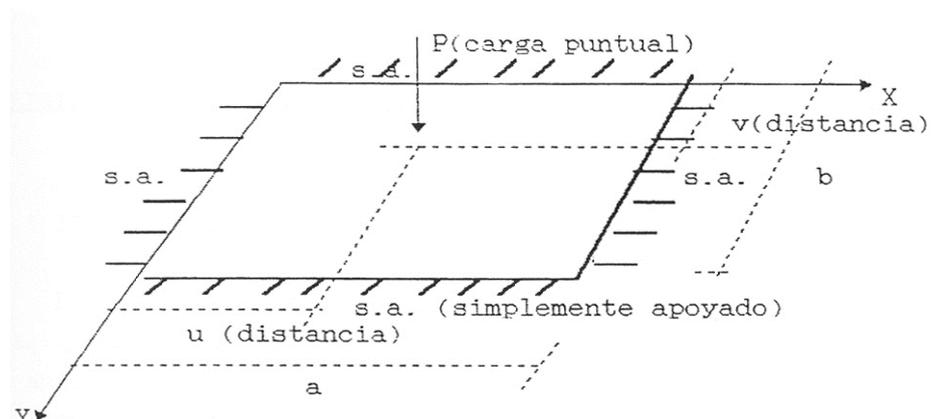


Figura 16. Losa simplemente apoyada en los bordes.

Para losas rectangulares simplemente apoyadas los, desplazamientos y momentos, se pueden obtener de forma similar que en el acápite anterior, cuya deflexión W es:

$$W = \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{4p}{ab} \operatorname{sen} \frac{m\pi u}{a} \operatorname{sen} \frac{m\pi v}{a} \right) \frac{b^4}{\pi^4} \frac{1}{D[m^2 \left(\frac{b}{a}\right)^2 + n^2]^2} \operatorname{sen} \frac{m\pi x}{a} \operatorname{sen} \frac{n\pi y}{b}$$

Si la losa es cuadrada, entonces: $b/a = 1$, $u/a = 1/2$ y $v/b = 1/2$, el desplazamiento resulta:

$$W = \frac{4Pb^2}{\pi^4 D} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{[m^2 + n^2]^2}$$

En el centro la deflexión será:

$$W_{\text{centro}} = 0.0114 pb^2/D$$

el momento es infinito en el centro, bajo las condiciones impuestas anteriormente.

2.1.6.5.2. Análisis de Losas Circulares

Para el cálculo de desplazamientos y esfuerzos internos en losas circulares es más conveniente realizar el análisis en coordenadas polares. Para el análisis de éste tipo de losas como se muestra en la Fig. 2.14 podemos formular las- ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y las relaciones de esfuerzo - desplazamiento de forma similar que en coordenadas cartesianas (Ref. [9] y [11]).

Se analiza losas de bordes empotrados con carga repartida y concentrada, losas simplemente apoyados con carga repartida y concentrada, respectivamente.

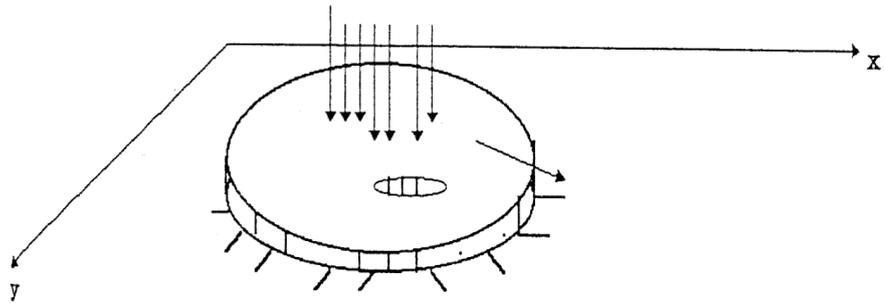


Figura 15. Losa circular con carga repartida

2.1.6.5.3. Ecuaciones de Equilibrio para Losas Circulares en Coordenadas

Polares

Se muestra un diferencial de losa en la Fig.2.15, donde podemos observar los esfuerzos interiores en diferentes caras con los cuales podemos generar momentos, cortantes y sus respectivas variaciones, como se muestra en la Fig.3.5, de forma similar que las losas en "coordenadas cartesianas, se puede hallar las ecuaciones de equilibrio en coordenadas polares (Ref.[11]).

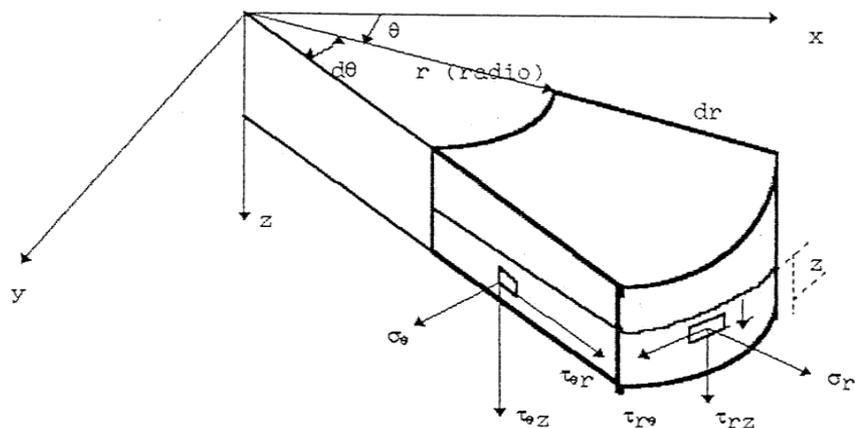


Figura 16. Parte de losa circular donde se muestra los esfuerzos internos normales σ_i y esfuerzos cortantes τ_{ij} .

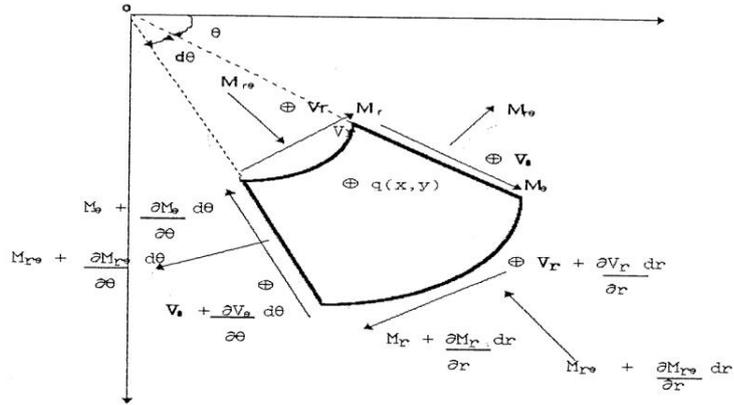


Figura 17. Muestra las fuerzas cortantes y momentos internos en la losa circular.

Las ecuaciones de equilibrio se obtienen por equilibrio estático, haciendo la sumatoria de fuerzas verticales (V_r, V_θ), sumatoria de momentos radiales M_θ , sumatoria de momentos tangenciales y momentos torsores, como:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} = -q$$

$$\frac{\partial M_r}{\partial r} + \frac{2M_{r\theta}}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_\theta}{\partial \theta} = V_\theta \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial M_r}{\partial r} + \frac{M_r - M_\theta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial M_{r\theta}}{\partial \theta} = V_r$$

Utilizando las ecuaciones (2.8), Ver capítulo II, y las hipótesis de Kirchhoff, para losas planas, se formula las ecuaciones de compatibilidad que permiten expresar las deformaciones (sin incluir las

deformaciones por corte) en términos del desplazamiento w (Ref. [9]),

como:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= -z \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \\ \varepsilon_\theta &= -z \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \\ \gamma_{r\theta} &= -2z \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)\end{aligned}\quad (2.16)$$

Los esfuerzos σ_{ij} y τ_{ij} en losas de materiales isotrópicos, utilizando las relaciones deformación - desplazamiento, se puede expresar como:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{\varepsilon}{1-\nu^2} (-z) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \right] \\ \sigma_r &= \frac{\varepsilon}{1-\nu^2} (-z) \left[\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \right] \\ \tau_{r\theta} &= \frac{\varepsilon}{1-\nu^2} (1-\nu) (-z) \left[\frac{1}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right]\end{aligned}\quad (2.17)$$

Estos esfuerzos se pueden integrar sobre el espesor de la losa de la Fig. 3.4 y teniendo en consideración que la losa y las cargas son generadas alrededor de un eje de simetría (los momentos torsores $M_{r,\theta}$ y los giros $\partial W/\partial \theta$ se anulan) podemos expresar los momentos M y las cortantes V como:

$$\begin{aligned}M_r &= -D \left[\frac{d^2 w}{dr^2} + \nu \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right] \\ M_\theta &= -D \left[\frac{1}{r} \frac{dw}{dr} + \nu \frac{d^2 w}{dr^2} \right] \\ V_r &= -D \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right]\end{aligned}\quad (2.18)$$

Y los desplazamientos w en función de las cargas q es:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right) \right) = \frac{q}{D}\quad (2.19)$$

2.1.6.5.4. Análisis de Losas Circulares de Borde Empotrado

Análisis de la losa con cargada uniforme de borde empotrado (Fig. 2.17)

(Ref. [11]).

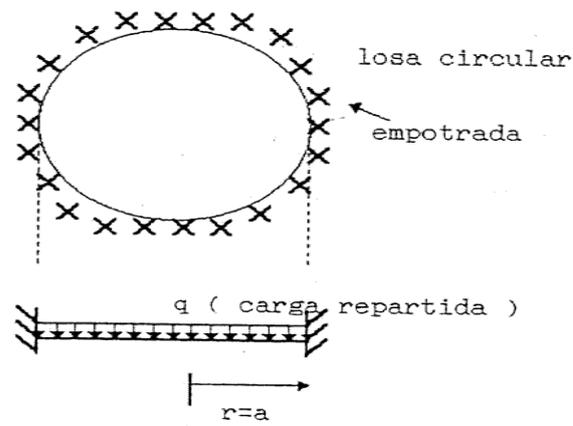


Figura 20. Losa circular bajo carga uniformemente repartida de borde empotrado.

Integrando la ecuación (2.19) e imponiendo las condiciones de borde, se obtiene los desplazamientos w , tal como:

$$w = \frac{q_0 a^4}{64D} \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^2$$

La deflexión en el centro de la losa es:

$$w(\text{centro}) = q_0 \frac{a^4}{64D} \quad (2.20)$$

Reemplazando el desplazamiento de la ecuación (2.20) en (2.18), se obtiene los momentos:

$$M_r = \frac{q_0 a^2}{16} \left[(1 + \nu) - (3 + \nu) \frac{r^2}{a^2} \right]$$

$$M_{\theta} = \frac{q_0 a^2}{16} [(1 + \nu) - (1 + 3\nu) \frac{r^2}{a^2}]$$

El momento en el centro de la losa, es:

$$M_r = M_{\theta} = \frac{(1 + \nu)}{16} q_0 a^2$$

Análisis de losa de borde empotrado bajo carga concentrada (Fig. 2.18)

(Ref. [11]).

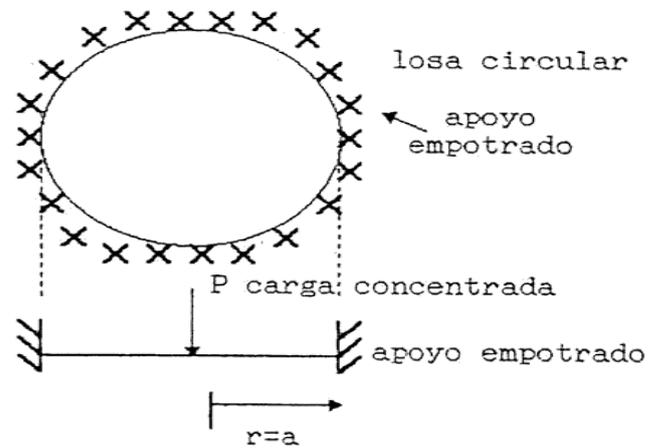


Figura 18. Losa circular bajo carga concentrada de bordes empotrado.

Integrando la ecuación (2.19) e imponiendo las condiciones de borde, se obtiene los desplazamientos w , tal como:

$$w = \frac{Pa^2}{16\pi D} \left[1 - \frac{r^2}{a^2} + \frac{r^2}{a^2} \ln \frac{r^2}{a^2} \right] \quad (2.21)$$

La deflexión en el centro, es:

reemplazando los desplazamientos de la ecuación (2.21) en (2.18) se obtiene los momentos:

$$M_r = \frac{-P}{8\pi} \left[2 + (1 + \nu) \ln \frac{r^2}{a^2} \right]$$

$$M_{\theta} = \frac{-P}{8\pi} \left[2\nu + (1 + \nu) \ln \frac{r^2}{a^2} \right]$$

2.1.6.5.5. Análisis de Losas Circulares de Borde Simplemente Apoyado

Análisis de una, losa con carga uniformemente de bordes simplemente apoyados (Fig. 22) (Ref. [11]).

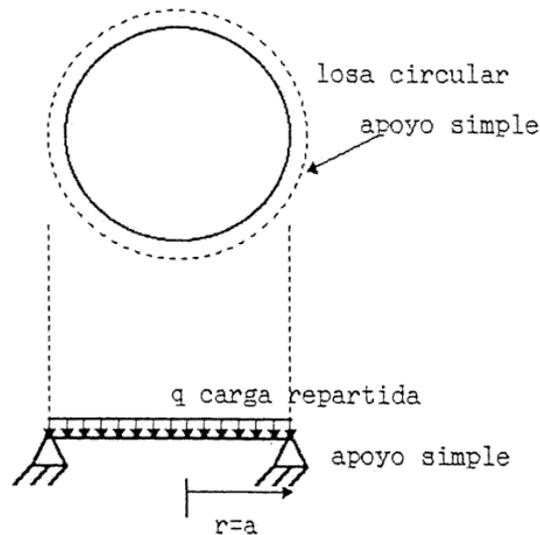


Figura 19. Losa circular simplemente apoyada bajo carga repartida

Integrando la ecuación (2.19) e imponiendo las condiciones de borde, se obtiene los desplazamientos w , tal como:

$$W = \frac{q_0 a^4}{64D} \left[\frac{5+\nu}{1+\nu} - 2 \frac{(3+\nu)}{1+\nu} \frac{r^2}{a^2} + \frac{r^4}{a^4} \right] \quad (2.22)$$

La deflexión en el centro de la losa es:

$$W_{\text{centro}} = \frac{(5 + \nu) q_0 a^4}{(1 + \nu) 64D}$$

Reemplazando los desplazamientos de la ecuación (2.22) en (2.18), se

obtiene los momentos: $M_r = \frac{q_0 a^2}{16} (3 + \nu) \left[1 - \frac{r^2}{a^2} \right]$

$$M_r = \frac{q_0 a^2}{16} (3 + \nu) \left[1 - \frac{(1+3\nu)}{(3+\nu)} \frac{r^2}{a^2} \right] \quad (2.23)$$

El momento en el centro, es:

$$M_r = M_\theta = (3 + \nu) \frac{q_0 a^2}{16}$$

- Análisis de losa bajo carga concentrada de borde simplemente apoyado

(Fig. 23) (Ref. [11]).

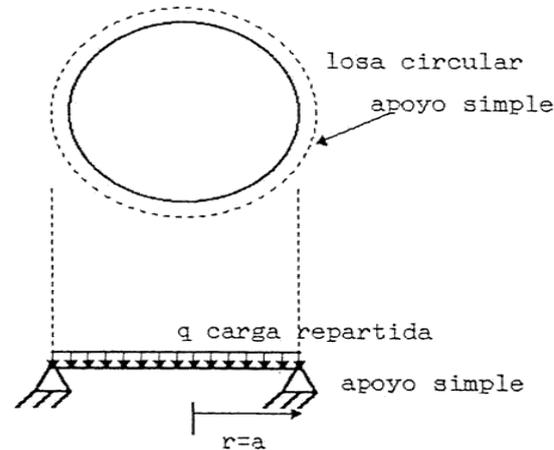


Figura 20. Losa circular bajo carga concentrada de bordes con apoyo simple.

Integrando la ecuación (2.19) e imponiendo las condiciones de borde, se obtiene los desplazamientos w , tal como:

$$W = \frac{Pa^2}{16\pi D} \left[\frac{(3+\nu)}{1+\nu} \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) \frac{r^2}{a^2} \ln \frac{r^2}{a^2} \right] \quad (2.24)$$

Reemplazando los desplazamientos en la ecuación (2.24) en (2.18), se obtiene los momentos:

$$M_r = -\frac{P}{8\pi} (1 + \nu) \ln \frac{r^2}{a^2} \quad (2.25)$$

$$M_r = \frac{-P(1 + \nu)}{8\pi} \left[\ln \frac{r^2}{a^2} - 2 \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)} \right]$$

Nótese que cuando $r \rightarrow 0$ los momentos tienden al infinito. Esto es debido a la idealización de la carga como concentrada, en lugar de suponer una carga distribuida en una área pequeña.

2.1.6.6. Método de los Elementos Finitos

2.1.6.6.1. Enfoque

El Método del Elemento Finito, es un método numérico, gran versatilidad que permite abordar problemas de diferentes áreas de las Ciencias e Ingeniería (Ref. [18]-[25]).

Los primeros iniciadores de este método fueron Hrenicoff (1941) introduciendo el famoso método del «Trabajo Virtual», Courant (1943) utilizando funciones de elementos discretos continuos, definidos sobre un sub-dominio , usó ensamblajes de elementos triangulares y el Principio de la Energía Potencial Minimizada estudiada por St. Venant.

La forma de la presentación del método de los elementos finitos es atribuida a Argyris y Kelsey (1960) y a Turner, Clough, Martin y Topp (1956). El Término de «Elementos Finitos* fue usado por primera vez por Clough en 1960. Una contribución teórica importante fue hecha en 1963, cuando Melosh enseñó que el método de los elementos finitos encajaba muy bien en el método de Rayleigh-Ritz.

El rango de aplicaciones por el método de los elementos finitos fue completado por las investigaciones de Szabo y Lee (1969)- y Zienkiewicz (1971).

El procedimiento de los elementos finitos puede ser considerado como, un caso particular del método de Rayleigh-

Ritz, en el cual las aproximaciones son planteadas a nivel de subregiones o “elementos finitos” y no a nivel de la región como un conjunto.

2.1.6.6.2. Discretización de la Estructura en Elementos Finitos

Supongamos una estructura, por ejemplo, una losa plana sometida a cargas uniformes en sus extremos como se muestra en la Fig. 24. Por simetría se puede analizar la cuarta parte de la estructura y a ésta la podemos subdividir (discretizar) imaginariamente, por líneas, en elementos finitos triangulares enlazados entre sí en los nudos, como se muestra en la Fig. 25. Esta subdivisión o "malla" debe responder a los posibles comportamientos que puedan tener la estructura (Ref. [18]).

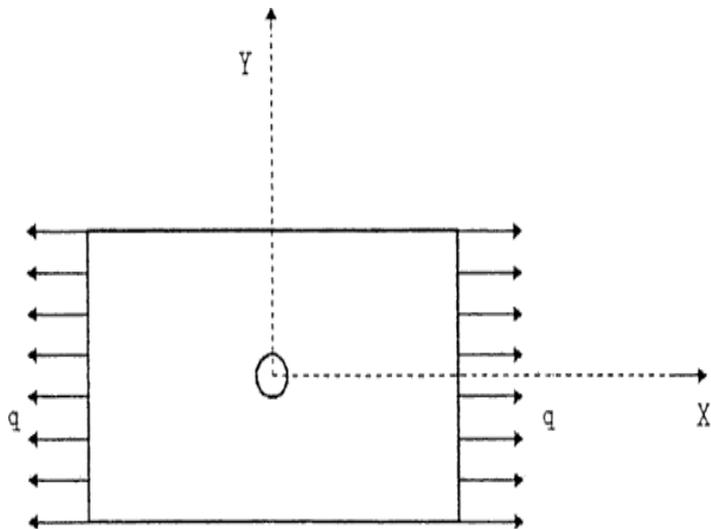


Figura 21. Losa con orificio sometida a cargas axiales en sus extremos

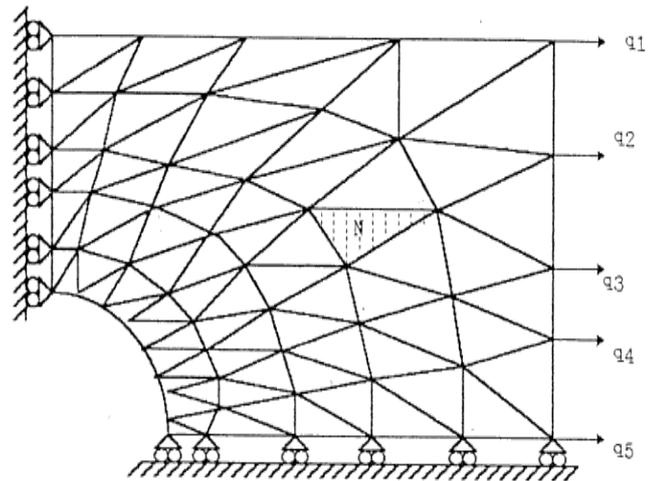


Figura 22 Losa subdividida o discretizada en n elementos finitos triangulares sometida a cargas equivalentes en los nudos

2.1.6.6.3. Funciones de Desplazamiento

En la losa discretizada mediante elementos triangulares descrita en la Fig. 25, se escoge un elemento típico triangular como el mostrado en la Fig. 26.

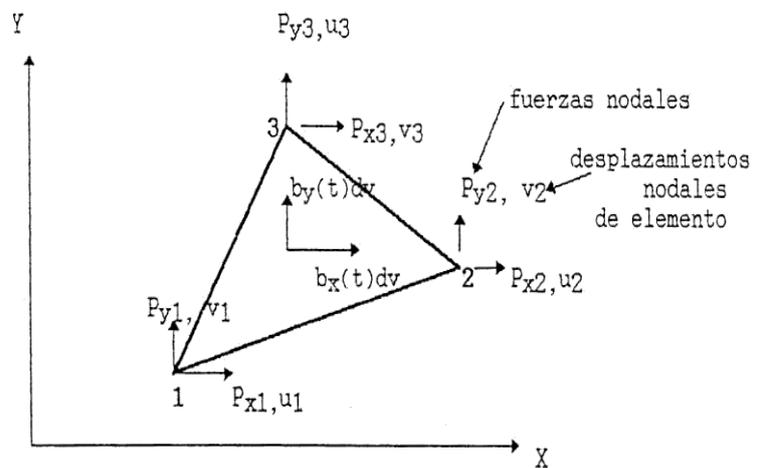


Figura 23 Elemento típico triangular de tres nudos donde se indica las fuerzas y desplazamientos de nudo.

Así por ejemplo en el elemento N cada nudo tiene dos desplazamientos u_i y v_i , y dos fuerzas internas P_{xi} , P_{yi} y son

paralelas a los ejes coordenados globales, X e Y, se puede expresar los desplazamientos y fuerzas de nudos vectorialmente (Ref. [18]), como:

$$\{d\}_e = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

2.1.6.6.4. Función de Aproximación de los Desplazamientos de los Puntos Interiores de Elementos Finitos.

Se escoge un conjunto de funciones que definan los desplazamientos/ dentro de cada elemento en términos de los desplazamientos nodales, por ejemplo las expresiones siguientes de los desplazamientos u o v de cualquier punto interior del elemento triángulo (Ref. [18]), puede ser expresado mediante los parámetros indeterminados ai,

$$u(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y$$

$$v(x,y) = a_4 + a_5x + a_6y \quad (2.27)$$

Que se conoce como función de los desplazamientos.

Matricialmente la ecuación (4.3) se puede escribir:

$$\{d\} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}$$

$$\{d\} = [P]\{A\} \quad (2.28)$$

En la que [P] es la matriz de monomios y {A} es el vector de parámetros del elemento, con tantos términos como grados de libertad nodal total tenga el elemento. Al reemplazar las funciones de desplazamiento de la ecuación (2.28) en (2.26), tendremos los desplazamientos {d}e en función de sus coordenadas de nudo [C] y el vector de parámetros {A}, esto es:

$$\{d\}_e = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix}$$

$$\{d\}_e = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \\ 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \\ 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix}$$

$$\{d\}_e = [C]\{A\} \quad (2.29)$$

Ésta ecuación nos permitirá deducir el vector de parámetros {A}, en función de la matriz de coordenadas nodales [C],

$$\{A\} = [C]^{-1} \{d\}_e \quad (2.30)$$

Si [C]⁻¹ existe (nodos no alineados), se puede hallar analíticamente o por procedimiento numérico. Podemos expresar los desplazamientos de cualquier punto interior del elemento {d} en función de sus desplazamientos de nudo por medio de las funciones de interpolación [N], reemplazando la expresión (2.30) en (2.28), de manera:

$$\{d\} = [P][C]^{-1} \{d\}_e$$

$$\{d\} = \{[N1.[I], N2.[I], N3.[I] \} \cdot \{d\}_e = [N]. \{d\}_e$$

$$\{d\} = [N]. \{d\}_e \quad (2.31)$$

En la que: N1, N2, N3 son las funciones de interpolación o de forma asociada a cada uno de los nodos del elemento finito.

La Fig. 27 muestra, gráficamente, el significado de las funciones Ni.

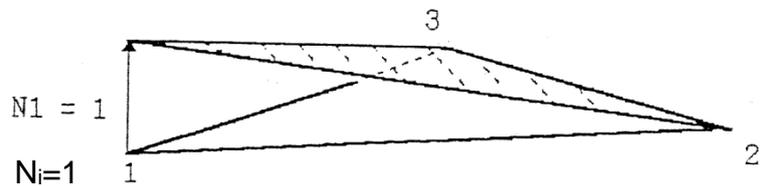


Figura 24 Interpolación gráfica de las funciones de interpolación o forma del elemento

2.1.6.6.5. Relación del Estado de Deformación en Función de los Desplazamientos de Nudo

Se puede relacionar el vector deformación unitaria con el vector de desplazamientos nodales $\{d\}_e$, en función la matriz de deformación $[B]$ que es el producto matricial del operador lineal y la función de interpolación $[N]$, de acuerdo con la teoría de la elasticidad (Ref. [3] y [18]):

$$\{\varepsilon\} = [\varphi]. \{d\} = [\varphi]. [N] = [B]. \{d\}_e$$

$$\{\varepsilon\} = [B]. \{d\}_e \quad (2.32)$$

Así, para el ejemplo particular, tendremos:

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial X} \\ \frac{\partial v}{\partial Y} \\ \frac{\partial u}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial Y} \\ \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial X} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = [B] \cdot \{d\} \quad (2.33)$$

Las submatrices de deformación nodal [B1],[B2],[B3] se obtienen aplicando el operador lineal a las funciones de interpolación o de forma N1, N2, N3 asociadas a los nodos del elemento considerado. Además, se puede notar que B está en función de coordenadas Xi e Yi de los nodos del

$$\text{elemento:}\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial X} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial X} & 0 & \frac{\partial N_l}{\partial X} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial Y} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial Y} & 0 & \frac{\partial N_l}{\partial Y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial Y} & \frac{\partial N_i}{\partial X} & \frac{\partial N_j}{\partial Y} & \frac{\partial N_j}{\partial X} & \frac{\partial N_l}{\partial Y} & \frac{\partial N_l}{\partial X} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \dots \\ u_j \\ v_j \\ \dots \\ u_l \\ v_l \end{bmatrix}$$

$$\{\varepsilon\} = [[B_1], [B_2], [B_3]] \cdot \{d\}_e = [B] \cdot \{d\}_e \quad (2.34)$$

2.1.6.6.6. Relación Esfuerzo Deformación

Al estado anterior de deformación $\{\varepsilon\}$ corresponderá un estado de esfuerzos $\{\sigma\}$ y se relacionan mediante la matriz de elasticidad [D] de la siguiente manera (Ref. [3] y [18]):

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\} = [D] \cdot [B] \cdot \{d\}_e$$

$$\{\sigma\} = [D] \cdot [B] \cdot \{d\}_e \quad (2.35)$$

Así, para el ejemplo particular desarrollado, la relación de los esfuerzos $\{\sigma\}$ con las deformaciones $\{\varepsilon\}$, para materiales

isotrópicos, estará expresado en función del módulo de elasticidad E y los coeficientes de Poisson ν (Ref. [4]), será:

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & 0 \\ d_{21} & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix}$$

Siendo:

$$d_{11} = d_{22} = E \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

$$d_{12} = d_{21} = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

$$d_{33} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.36)$$

2.1.6.6.7. Cálculo de la Matriz de Rigidez del Elemento y el Vector de Cargas

Para hallar la matriz de rigidez del elemento típico, es necesario formular la ecuación fundamental que relacione las fuerzas y los desplazamientos del elemento, a través del principio de trabajos virtuales (Ref. [18]).

Considerando un desplazamiento virtual en los nudos, los desplazamientos virtuales y deformaciones virtuales dentro del elemento, utilizando las ecuaciones (2.31) y (2.32), quedan expresados como:

$$\delta\{d\} = [N].\delta\{d\}_e \quad (2.37)$$

$$\delta\{\varepsilon\} = [B].\delta\{d\}_e \quad (2.38)$$

Respectivamente.

El trabajo virtual externo producido por las fuerzas nodales es igual a la suma del producto de los componentes de las fuerzas $\{F\}_e$ por sus correspondientes transpuestas de desplazamientos $\{d\}_e$. En notación matricial se tiene:

$$\delta W_e = (\delta\{d\}_e)^T \{F\}_e \quad (2.39)$$

Similarmente, el trabajo virtual interno por unidad de volumen producido por las tensiones y fuerzas distribuidas $\{P\}$ es:

$$\delta W_i = \delta\{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \delta\{d\}^T \{P\} \quad (2.40)$$

Reemplazando en la ecuación (2.40) las ecuaciones (2.34) y (2.38), se obtiene para el trabajo interno la siguiente expresión:

$$\delta W_i = ([B] d\{\delta\}_e)^T \{\sigma\} - ([N] d\{\delta\}_e)^T \{P\}$$

Igualando el trabajo externo con el trabajo interno total e integrando en todo el volumen del elemento, se tiene:

$$(\delta\{d\}_e)^T \{F\}_e = (\delta\{d\}_e)^T \left(\int_v [B]^T \{\sigma\} d(vol) - \int_s [N]^T \{P\} ds \right)$$

Esta relación es válida para cualquier valor del desplazamiento virtual. De esta manera se tiene que:

$$\{F\}_e = \left(\int_v [B]^T \{\sigma\} d(vol) - \int_s [N]^T \{P\} ds \right)$$

Reemplazando la ecuación (2.35) en la ecuación anterior se obtiene finalmente:

$$\{F\}_e = \left(\int_v [B]^T [D] [B] \{d\}_e - \int_s [N]^T \{P\} ds \right) \quad (2.41)$$

Esta ecuación es análoga a la ecuación del método de los desplazamientos en estructuras reticulares. La matriz de rigidez está dada por:

$$[K]_e = \int_v [B]^T [D] [B] d(vol) \quad (2.42)$$

Las fuerzas nodales debidas a las cargas distribuidas están dadas por:

$$\{F\}_e^p = - \int_s [N]^T \{P\} ds \quad (2.43)$$

La ecuación fundamental que relaciona las fuerzas y desplazamientos de un elemento es:

$$\{F\}_e^p = [K]_e \{d\}_e + \{F\}_e^p \quad (2.44)$$

2.1.6.6.8. Ecuación de Equilibrio para Todo el Dominio

El proceso para obtener las ecuaciones de equilibrio para la estructura el dominio, por el método de los elementos finitos, podemos aplicar El "principio del Trabajo Virtual".

Para cada elemento, k, los desplazamientos del elemento están relacionados a los desplazamientos de la estructura {D}, por medio de una matriz de transformación de elemento [T]_k, como:

$$\{d\}_k = [\Gamma]^k \{D\}$$

Entonces el trabajo virtual interno en el k-ésimo elemento, en coordenadas globales, es:

$$\delta W^k_I = \left(\int v ([B][\Gamma]^k \{\delta D\})^T \{\sigma\} (dvol) \right) - \left(\int v ([N][\Gamma]^k \{\delta D\})^T \{P\} (dvol) \right)$$

$$\begin{aligned} \delta W^k_I = & \{\delta D\}^T [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([B]^T [D][B]) (dvol) [\Gamma]^k \{D\} \right. \\ & \left. - \{\delta D\}^T [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([N]^T [P](dvol) \right) \right) \end{aligned}$$

Siendo el trabajo virtual externo en el k-ésimo elemento, en coordenadas globales, de la forma:

$$\delta W^k_E = \{\delta D\}^T \{F\}^k$$

El trabajo interno total para el dominio, es: $\delta W_I =$

$$\sum_{k=1}^M \delta W^k_I$$

Y el trabajo externo total para el dominio, es: $\delta W_E =$

$$\sum_{k=1}^M \delta W^k_E$$

igualando los trabajos virtuales, se tiene:

$$\sum_{k=1}^M \{F\}^k = \left[\sum_{k=1}^M [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([B]^T [D] [B]) (dvol) [\Gamma]^k \{D\} \right. \right. \\ \left. \left. + \left[- \sum_{k=1}^M [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([N]^T [P] (dvol) \right) \right) \right] \right)$$

de la expresión anterior se puede identificar: la matriz de rigidez global de la estructura [K], el vector de cargas externas globales {F}, el vector de cargas internas globales {F}p y los desplazamientos globales {D}, como:

$$\{F\} = [K]\{D\} + \{F\}p \quad (2.45)$$

Donde :

$$[K] = \left[\sum_{k=1}^M [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([B]^T [D] [B]) (dvol) [\Gamma]^k \right) \right] \\ [F]p = \left[- \sum_{k=1}^M [\Gamma]^{k,T} \left(\int v ([N]^T [P] (dvol) \right) \right)$$

2.1.6.6.9. Formulación del Método de los Elementos Finitos Usando Elementos Isoperimétricos

En la sección 2.1.6.2.7 se ha formulado la matriz de rigidez del elemento finito extendida dentro de los límites del subdominio del elemento, el principal problema que se genera al usar este método es la elección del tipo de elemento dentro del dominio, más aun si la estructura presenta, en su superficie, bordes irregulares (Fig. 28)

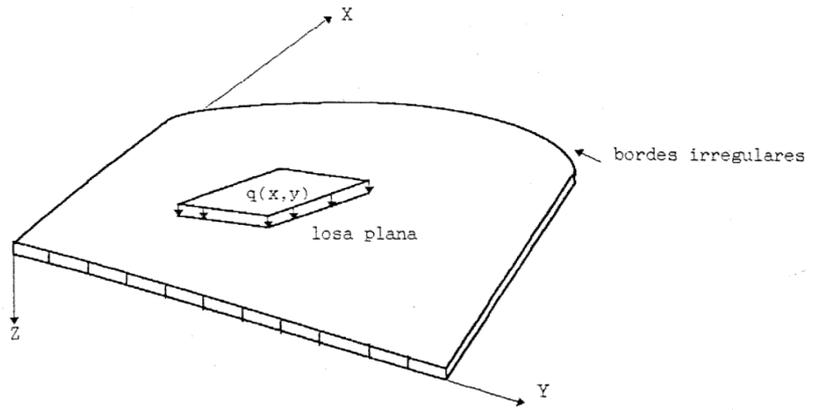


Figura 25 Estructura con superficies de bordes irregulares.

La buena elección del tipo de elemento presenta ventajas computacionales y de exactitud en los resultados del análisis. Por ejemplo, se tiene una estructura plana y se subdivide su dominio con elementos que se adecúan a su forma del dominio y a éstos se les denomina elementos isoparamétricos, como se muestra en la Fig. 29. Para obtener la matriz de rigidez del elemento, es necesario hacer una transformación geométrica de coordenadas tal como observa en la Fig. 30a, donde el elemento “padre” o coordenadas locales (Fig. 30b) está en coordenadas naturales, en los puntos interiores del elemento (Ref. [25]).

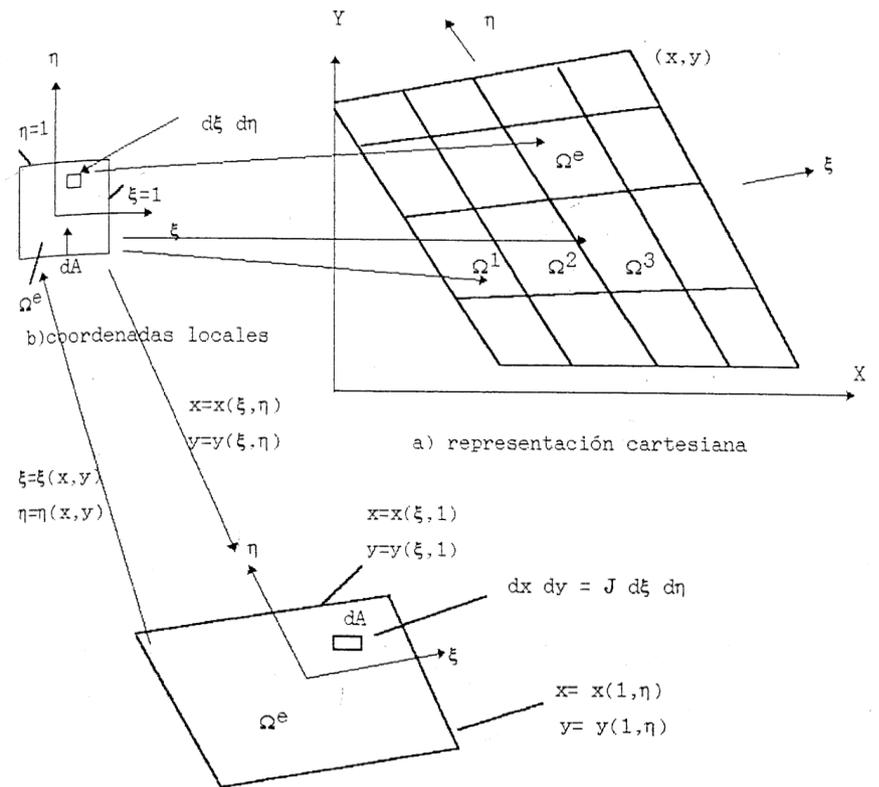


Figura 26 Dominio con elementos cuadriláteros.

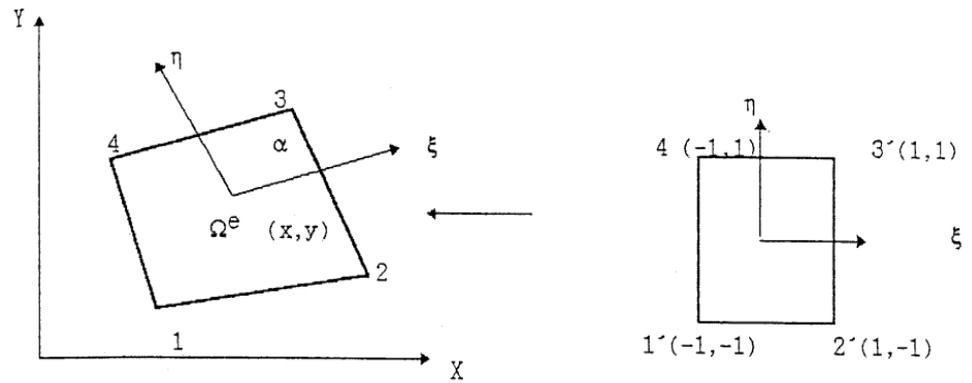
a) Transformación de los elementos isoparámetros.

Para problemas bidimensionales, la expresión en forma polinómica de las coordenadas globales X, Y de los puntos interiores de un elemento finito transformado, en función de las coordenadas locales, del elemento padre y los coeficientes indeterminados a_i, b_i (Ref. [24]), es:

$$X = a_1 + a_2\xi + a_3\eta + \dots$$

$$Y = b_1 + b_2\xi + b_3\eta + \dots \quad (2.45)$$

Por ejemplo, el elemento rectangular de cuatros nudos como se muestra en la Fig. 30b que está en el sistema de coordenadas; se transforma en su isoperimétrica de 4 nudos en el sistema de coordenadas global X e Y .



a) Elemento cuadrilátero transformado

b) Elemento rectangular en coordenadas locales.

Figura 27 Elemento isoperimétrico cuadrilátero (4 nudos).

Las expresiones de las coordenadas cartesianas ortogonales de un punto interior del elemento cuadrilátero (Fig. 30), serán:

$$X = a_1 + \xi a_2 + \eta a_3 + \eta a_4$$

$$Y = a_5 + \xi a_6 + \eta a_7 + \eta a_8 \quad (2.46)$$

Estas relaciones se pueden expresar matricialmente, donde los puntos Anteriores del elemento es $\{X\}$ y está en función de los parámetros generalizados $\{A\}$ y la matriz de monomios $[P]$, de la forma:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \xi & \eta & \xi\eta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \xi & \eta & \xi\eta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix}$$

En forma general será:

$$\{X\} = [P] \{A\} \quad (2.47)$$

Si se sustituye las coordenadas de cada nudo del elemento en la expresión (4.21), se obtiene la matriz de coordenadas $[C]$

multiplicado por los parámetros generalizados $\{A\}$, de manera:

$$\{X\}e = [C] \{A\} \quad (2.48)$$

luego

$$\{A\} = [C]^{-1} \{X\}e \quad (2.49)$$

Reemplazando la expresión (2.49) en (2.47), se relaciona los desplazamientos de los puntos interiores $\{X\}$ con los desplazamientos de nudo a través de la función de interpolación $[\Phi]$; expresadas en coordenadas/ locales, tal como:

$$\begin{aligned} \{X\} &= [P][C]^{-1} \{X\}e = [\Phi] \{X\}e \\ \{X\} &= [\Phi] \{X\}e \end{aligned} \quad (2.50)$$

Por ejemplo, para problemas bidimensionales con elementos cuadriláteros de cuatro nudos, ver Fig. 2.27, la relación anterior, se puede expresar como:

$$\begin{aligned} X &= \sum_{i=1}^4 \Phi_i(\xi, \eta) X_i \\ Y &= \sum_{i=1}^4 \Phi_i(\xi, \eta) Y_i \end{aligned} \quad (2.51)$$

Donde la función de interpolación Φ_i (Ref. [25]), se puede representar como:

$$\Phi_i(x, y) = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) \quad (2.52)$$

Explícitamente

$$\Phi_1 = \frac{1}{4} (1 - \xi)(1 - \eta)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta)$$

$$\Phi_3 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta) \quad (2.53)$$

$$\Phi_4 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta)$$

Una transformación de mayor orden es la de los elementos rectangulares de 8 nudos (Fig. 31) (Ref. [25]), se consigue mediante la siguiente relación:

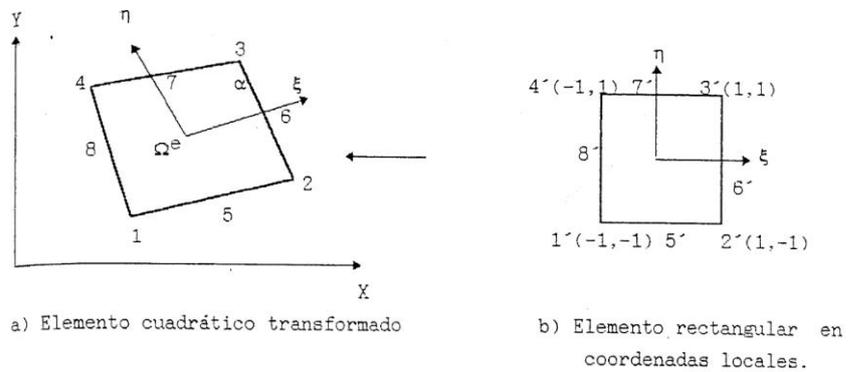


Figura 28 Elemento isopatamétrico cuadrático de 8 nudos.

$$X = \sum_{i=1}^8 \Phi_i(\xi, \eta) X_i$$

$$Y = \sum_{i=1}^8 \Phi_i(\xi, \eta) Y_i$$

Donde la función ϕ_i de interpolación es:

$$\Phi_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)(-1 - \xi - \eta)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 - \eta)$$

$$\Phi_3 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 - \eta)(-1 + \xi - \eta)$$

$$\Phi_4 = \frac{1}{2}(1 - \xi)(1 - \eta^2)$$

$$\Phi_5 = \frac{1}{2}(1 + \xi)(1 - \eta^2)$$

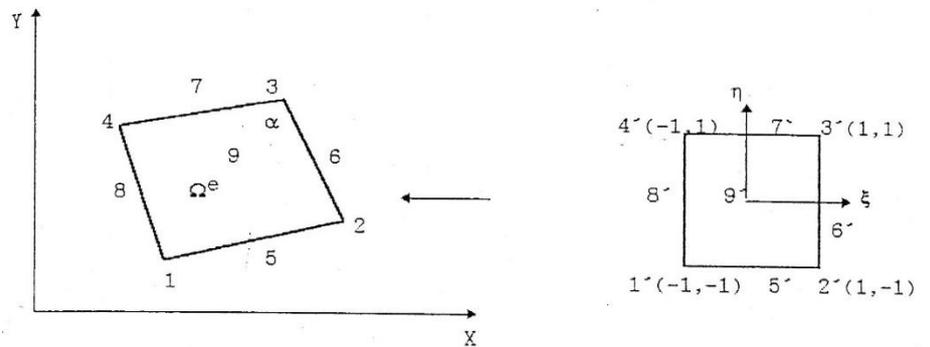
$$\Phi_6 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)(-1 - \xi + \eta) \quad (2.54)$$

$$\Phi_7 = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta)$$

$$\Phi_8 = \frac{1}{4}(1 + \xi)(1 + \eta)(-1 + \xi + \eta)$$

Para elementos cuadráticos de nueve nudos (Fig. 32) (Ref.

[25])



a) Elemento cuadrático o nudos en coord.

b) Elemento rectangular de isoparamétrico de 9 locales.

Figura 29 Elemento isoparamétrico cuadrático de 9 nudos.

La transformación de coordenadas se consigue mediante la siguiente relación

$$X = \sum_{i=1}^9 \Phi_i(\xi, \eta) X_i$$

$$Y = \sum_{i=1}^9 \Phi_i(\xi, \eta) Y_i$$

Donde la función de forma Φ_i para elementos cuadriláteros de nueve nudos será:

$$\begin{aligned}
 \Phi_1 &= \frac{1}{4}(\xi^2 - \xi)(\eta^2 - \eta) \\
 \Phi_2 &= \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(\eta^2 - \eta) \\
 \Phi_3 &= \frac{1}{4}(\xi^2 + \xi)(\eta^2 - \eta) \\
 \Phi_5 &= (1 - \xi^2)(1 - \eta^2) \quad (2.55) \\
 \Phi_6 &= \frac{1}{2}(\xi^2 + \xi)(1 - \eta^2) \\
 \Phi_7 &= \frac{1}{4}(\xi^2 - \xi)(\eta^2 + \eta) \\
 \Phi_8 &= \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(\eta^2 + \eta) \\
 \Phi_9 &= \frac{1}{4}(\xi^2 + \xi)(\eta^2 + \eta)
 \end{aligned}$$

En la sección 2.1.6.2.8 se ha formulado la matriz de rigidez elemental $[K]_e$ y el vector de fuerzas nodales equivalentes $\{F\}_e^p$ en coordenadas globales X, Y y Z y en la sección 2.1.6.2.9 se ha formulado las funciones de interpolación Φ_i en coordenadas naturales o locales ξ, η (bidimensionales).

Para expresar la matriz de rigidez de elemento en coordenadas locales, para problemas bidimensionales, representaremos los desplazamientos de los puntos interiores W del elemento finito expresando en función de las coordenadas locales ξ, η , de manera siguiente:

$$X = \sum_{i=1}^n \Phi_i(\xi, \eta)W_i \quad (2.56)$$

Al igual que sus derivadas parciales:

$$\frac{\partial W}{\partial X} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} W_i \quad (2.57)$$

$$\frac{\partial W}{\partial Y} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} W_i$$

Además, se tiene la ecuación (2.51) que relaciona las coordenadas globales con las funciones de interpolación (Ref. [14]), de la forma:

$$X = \sum_{i=1}^n \Phi_i(\xi, \eta) X_i$$

$$Y = \sum_{i=1}^9 \Phi_i(\xi, \eta) Y_i$$

Estas expresiones las podemos derivar en función de las coordenadas naturales (Ref. [14]), de la forma:

$$\frac{\partial X}{\partial \xi} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} X_i$$

$$\frac{\partial X}{\partial \eta} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta}(\xi, \eta) X_i \quad (2.58)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \eta} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta}(\xi, \eta) Y_i$$

$$\frac{\partial Y}{\partial \xi} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi}(\xi, \eta) Y_i$$

Se puede hallar las derivadas de las funciones de interpolación con respecto a las coordenadas normalizadas, utilizando el método de la regla de la cadena (Ref. [14]):

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} = \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial \xi} + \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial \xi} \quad (2.59)$$

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} = \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial \eta} + \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial \eta}$$

En notación matricial, la relación de las derivadas de las funciones de interpolación Φ con respecto a las coordenadas locales ξ , η y las globales X e Y , se da a través de “Matriz Jacobiana” de transformación geométrica $[J]$ (Ref. [12]-[15]), de la forma:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

La inversa del jacobiano $[J]^{-1}$, se obtiene como:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \end{bmatrix} = [J^{-1}] \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

En la matriz inversa del jacobiano los coeficientes se expresan como J_{jj}^*

$$[J^{-1}] = [J^*] = \begin{bmatrix} J_{11}^* & J_{12}^* \\ J_{21}^* & J_{22}^* \end{bmatrix}$$

La ecuación (2.60) puede ser expresado:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \end{bmatrix} [J^*] \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} J_{12}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \\ J_{21}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} J_{22}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

Análogamente, podemos hacer la transformación, del diferencial de área del elemento finito (Fig. 33) para obtener el determinante J de “Matriz jacobiana” $[J]$, como:

$$dA=dx dy = J d\xi d\eta \quad (2.63)$$

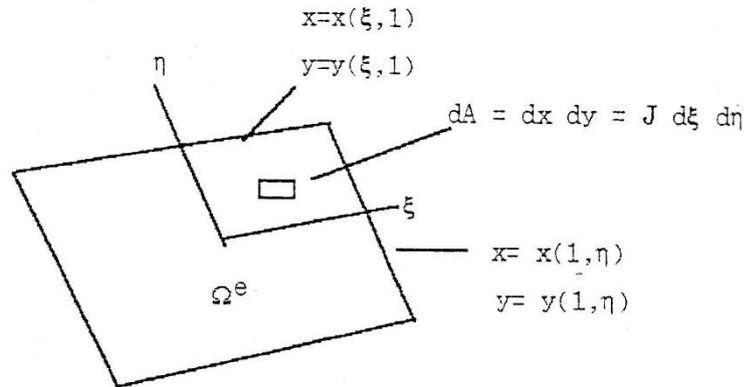


Figura 30 Se muestra el diferencial del elemento en coordenadas locales.

Por ejemplo, si se tiene la matriz de rigidez de elemento genérico K_i , donde las derivadas de las funciones de interpolación ϕ_i están respecto a las coordenadas globales X e Y , y además a , b y c son constantes de rigideces genéricos (Ref. [25]), tal como:

$$K_i^{(\theta)} = \int_{\Omega} \left(a \frac{\partial \phi_i}{\partial X} \frac{\partial \phi_i}{\partial Y} + b \frac{\partial \phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \phi_i}{\partial Y} + c \phi_i \phi_i \right) dx dy \quad (2.64)$$

Si se reemplaza en la matriz de rigidez, ecuación (2.64), las derivadas de funciones de interpolación en coordenadas locales (ξ, η) , ecuación (2.62), se puede obtener:

$$\begin{aligned}
K_i^{(\theta)} &= \int_{\Omega} \left(aJ_{11}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} + J_{12}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \right) \left(J_{11}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \xi} + J_{12}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \right) \\
&\quad + b \left(J_{21}^* \frac{\partial \Phi_j}{\partial \xi} + J_{22}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \right) \left(J_{21}^* \frac{\partial \Phi_j}{\partial \xi} \right. \\
&\quad \left. + J_{22}^* \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta} \right) + c \Phi_i \Phi_j J d\xi d\eta \\
&= \int_{\Omega} F(\xi, \eta) d\xi d\eta
\end{aligned}$$

Para integrar las ecuaciones anteriores en forma muy aproximada puede utilizar el método de integración numérica (Cuadratura de Gauss Legendre);, donde M y N denotan el número de puntos de la cuadratura en la direcciones de las coordenadas locales (ξ, η); ξ_i, η_j denotan los puntos d Gauss, y W_i y W_j son los correspondientes pesos de Gauss (Ref. [14]). Así

$$\begin{aligned}
\int_{\Omega} F(\xi, \eta) d\xi d\eta &= \int_{-1}^1 \left(\int_{-1}^1 F(\xi, \eta) d\xi d\eta \right) d\xi \\
\int_{\Omega} F(\xi, \eta) d\xi d\eta &= \int_{-1}^1 \left(\int_{-1}^1 F(\xi, \eta) d\xi d\eta \right) d\xi \quad (2.64) \\
\int_{\Omega} F(\xi, \eta) d\xi d\eta &= \int_{-1}^M \left(\int_{-1}^N F(\xi, \eta) d\xi d\eta \right) d\xi
\end{aligned}$$

2.1.6.6.10. Análisis de Losas por el Método de los Elementos Finitos

Para el análisis de losas por el método de los elementos finitos, se puede utilizar la formulación general de la matriz de rigidez y el vector sargas del elemento genérico expuesto anteriormente y las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y las relaciones de esfuerzo - deformación descritas.

Para obtener la matriz de rigidez y el vector de cargas del elemento losa, de forma eficiente y rápida, se usa la formulación variacional utilizando las ecuaciones descritas anteriormente. Los tipos de elementos que se utilizan para la formulación son los elementos cuadriláteros (Fig. 34), que pueden ser de 4, 8 o 9 nudos respectivamente.

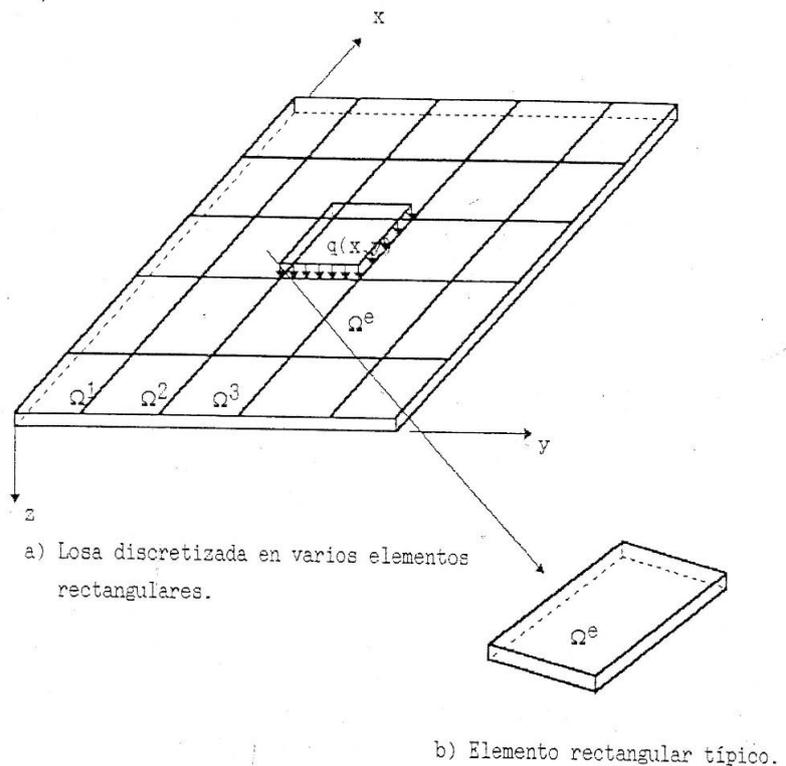


Figura 31 Losa subdividida en elementos rectangulares.

2.1.6.6.11. Campo de Desplazamientos

El elemento típico rectangular que se usa para la obtención patria de rigidez puede ser de 4, 8 o 9 nudos, por ejemplo en la Fi, se muestra el elemento rectangular de cuatro nudos y en cada nudo se t grados de libertad local, un desplazamiento

lineales W_i y desplazamientos rotacionales θ_{xi} y θ_{yi} (Ref.[19]).

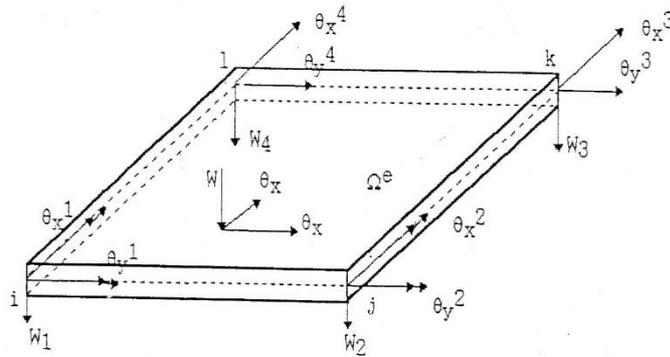


Figura 32 Elemento finito típico de cuatro nudos con 12 g.d.l. (3 g.d.l por nudo).

Los desplazamientos de los puntos interiores (W , θ_x y θ_y) del elemento se expresa en función de los desplazamientos de nudo (W_i , θ_{xi} y θ_{yi}) a través de las funciones de interpolación Φ_i , tal como:

$$W = \Phi_1 W_1 + \Phi_2 W_2 + \Phi_3 W_3 + \Phi_4 W_4$$

$$\theta_x = \Phi_1 \theta_{x1} + \Phi_2 \theta_{x2} + \Phi_3 \theta_{x3} + \Phi_4 \theta_{x4}$$

$$\theta_y = \Phi_1 \theta_{y1} + \Phi_2 \theta_{y2} + \Phi_3 \theta_{y3} + \Phi_4 \theta_{y4}$$

En general de desplazamientos para elementos rectangulares de 4, 8, o 9 nudos se puede expresar de la forma:

$$W = \sum_{i=1}^n \Phi_i \theta_x^i$$

$$\theta_x = \sum_{i=1}^n \Phi_i \theta_x^i \quad (2.65)$$

$$\theta_y = \sum_{i=1}^n \Phi_i \theta_y^i$$

2.1.6.6.12. Matriz de la Rigidez de Elemento

Para generen los coeficientes de rigidez del elemento se usa la formulación variacional (Ref. [16],[17] y [25]), integrando las ecuaciones (2.14) de la teoría de losas y multiplicando por las funciones de prueba Θ_1 , Θ_2 Y Θ_3 (físicamente pueden ser analizados como la variación $\square\square$, $\square\square_x$ y que indican desplazamiento y giros, respectivamente), de la siguiente manera :

$$\int_{\Omega^e} \Theta_1 \left\{ D_{44} \frac{\partial}{\partial X} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) D_{55} \frac{\partial}{\partial Y} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) + q \right\} dx dy = 0$$

$$\int_{\Omega^e} \Theta_2 \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{12} \frac{\partial W}{\partial X} \right) + D_{33} \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) - D_{44} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \right\} dx dy = 0$$

$$\int_{\Omega^e} \Theta_3 \left\{ D_{33} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) - D_{55} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \right\} dx dy = 0$$

Realizando la integración por partes, resulta

$$\int_{\Omega^e} \Theta_1 \left\{ D_{44} \frac{\partial \Theta_1}{\partial x} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) + D_{55} \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \right\} dx dy$$

$$\int_{\Omega^e} \Theta_1 q dx dy + \int_{\Gamma^e} \Theta_1 [D_{44} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \eta_x + D_{55} \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \eta_y] ds \quad (2.66a)$$

$$\left\{ D_{11} \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{12} \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} + D_{33} \frac{\partial \Theta_2}{\partial Y} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) + D_{44} \frac{\partial \Theta_2}{\partial Y} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \right\} dx dy$$

$$\int_{\Omega^e} \Theta_2 \left[\left(D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) \eta_x + D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) \eta_y \right] ds \quad (2.66b)$$

$$\int_{\Omega^e} \left\{ D_{33} \frac{\partial \Theta_3}{\partial x} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) + D_{12} \frac{\partial \Theta_3}{\partial Y} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{22} \frac{\partial \Theta_3}{\partial Y} \frac{\partial \theta_x}{\partial Y} \right. \\ \left. + D_{55} \Theta_3 \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \right\} dx dy$$

$$\int_{\Omega^e} \Theta_3 \left\{ \left(D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial X} + D_{22} \frac{\partial \theta_y}{\partial Y} \right) \eta_y + D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial Y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial X} \right) \eta_x \right\} ds$$

$$(2.66c)$$

Reemplazando los desplazamientos de la ecuación (2.65) en (2.66) y sustituyendo las funciones de prueba ϕ_i como función de forma Θ_i o de interpolación. En la ecuación 2.66a, sería:

$$\sum_{j=1}^n \int \left\{ D_{44} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \frac{\partial \Phi_j}{\partial x} + D_{55} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} \right\} dx dy W_j + \\ \sum_{j=1}^n \int D_{44} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \partial \Phi_j dx dy \cdot \theta_i^j + \sum_{j=1}^m \int D_{44} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \partial \Phi_j dx dy \cdot \theta_y^j = \\ \int_{\Omega^e} \Phi_i q dx dy + \int_{\Gamma^e} \Phi_i \left[D_{44} \left(\theta_x + \frac{\partial W}{\partial X} \right) \eta_x \right. \\ \left. + D_{55} \left(\theta_y + \frac{\partial W}{\partial Y} \right) \eta_y \right] ds$$

Y de forma similar sería con las ecuaciones 2.66b y 2.66c.

Las ecuaciones anteriores se puede expresar matricialmente, obteniéndose los coeficientes de rigidez K_{ij} y de cargas F_i del elemento genérico, de la forma:

$$\begin{bmatrix} [k^{11}] & [k^{12}] & [k^{13}] \\ [k^{22}] & [k^{23}] \\ \text{simétrica} & [k^{33}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{W\} \\ \{\theta_x\} \\ \{\theta_y\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{F^1\} \\ \{F^2\} \\ \{F^3\} \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

Donde los coeficientes de rigidez K_{ij} de la matriz de rigidez, está dado por:

$$\begin{aligned}
 K^{11}_{ij} &= \int_{\Omega^e} \left\{ D_{44} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial \Phi_j}{\partial X} + D_{55} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} \right\} dx dy \\
 K^{12}_{ij} &= \int_{\Omega^e} D_{44} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \Phi_j dx dy \\
 K^{13}_{ij} &= \int_{\Omega^e} D_{55} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \Phi_j dx dy \\
 K^{22}_{ij} &= \int_{\Omega^e} \left\{ D_{11} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} + D_{33} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} + D_{44} \Phi_i \Phi_j \right\} dx dy \\
 K^{23}_{ij} &= \int_{\Omega^e} \left\{ D_{12} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} + D_{33} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \Phi_j}{\partial X} \right\} dx dy \quad (2.70) \\
 K^{33}_{ij} &= \int_{\Omega^e} \left\{ D_{33} \frac{\partial \Phi_i}{\partial X} \frac{\partial \Phi_j}{\partial X} + D_{22} \frac{\partial \Phi_i}{\partial Y} \frac{\partial \Phi_j}{\partial Y} + D_{55} \Phi_i \Phi_j \right\} dx dy
 \end{aligned}$$

Y los coeficientes del vector de cargas F_i que está en función de los cortantes Q_n y momentos M_n, M_{ns} los de borde, de la forma:

$$K_i^1 = \int_{\Omega^e} q \Phi_i dx dy + \int_{\Gamma^e} Q_n \Phi_i ds \quad (2.71)$$

$$K_i^2 = \int_{\Gamma^e} M_n \Phi_i ds$$

$$K_i^3 = \int_{\Gamma^e} M_{ns} \Phi_i ds$$

Los esfuerzos normales σ_{ij} y los esfuerzos cortantes τ_{ij} , para un elemento típico, se pueden expresar matricialmente, utilizando la ecuación (2.71) y pasos del método de los elementos finitos, tal como:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = 6.0/(h ** 2) \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{x,x} \\ \theta_{y,y} \\ \theta_{x,y} + \theta_{y,x} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{bmatrix} = h/2 \begin{bmatrix} D_{44} & 0 \\ 0 & D_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_x + W_{,x} \\ \theta_y + W_{,y} \end{bmatrix} \quad (2.72)$$

2.2. Marco tecnológico

La tecnología es un proceso de ingeniería, de este modo se emplea como una herramienta a través de software y equipos, instrucciones, descripciones y experiencias especializadas, también incluye procesamiento de los datos de investigación para mejorar ó optimizar los resultados con mejores precisiones de aplicaciones diversas, en este caso se utilizará algoritmos, que es necesario expandir su conceptualización para el enfoque de la investigación:

2.2.1. Algoritmo

2.2.1.1. Historia

El término algoritmo se difunde a mediados del siglo IX, a través de la obra ‘Al – yebr – mugabata’, elaborado por el científico y matemático Muhammad bin Musa al Khwarizmi, en escritos de dicha obra explica fórmulas y procedimientos simples, las ecuaciones de primer y segundo grado. Sus libros en esencia, se caracterizaban en simplificar las matemáticas para que pueda ser comprendido y estudiado por un vasto público e intelectual. El matemático introdujo que las operaciones matemáticas manuales se podían usar apunte mecánicas (por ejemplo ábaco) para poder explicar de una forma sistemática el desarrollo de las ecuaciones matemáticas. Así, de la palabra algoritmo que originalmente hacía referencia a las reglas de uso de la aritmética utilizando dígitos

arábigos, se evolucionó a la palabra latina, derivación de al-Khwarizmi, algarismus, y luego más tarde mutó en algoritmo en el siglo XVIII. La palabra ha cambiado de forma que en su definición se incluyen a todos los procedimientos finitos para resolver problemas.

La palabra algoritmo implícitamente fue usado en sus textos aún no siendo el creador del primer algoritmo.

La utilización de la palabra algoritmo originalmente estaba destinado a las reglas de la aritmética con códigos arábigos. Aproximadamente a inicios del siglo XVIII, donde sedio a conocer su significado para englobar en su definición a todo tipo de procedimientos empleados con el fin de resolver problemas o hallar determinados trabajos.

En 1842 se empezó a usar el primer algoritmo escrito por un ordenador o computador, siendo la representación matemática Ada Byron usó por primera vez el algoritmo escrito para computador siendo el inicio del uso de algoritmos de programación de diferentes problemas para que puedan ser procesados mediante el uso de computadoras.

2.2.1.2. Concepto

Según Wikipedia (página Web): Un algoritmo es un conjunto discreto de instrucciones o pasos que se utilizan para procesar una labor o solucionar un problema riguroso, un algoritmo es un conjunto de operaciones secuenciales realizadas, no dudosas, cuya operación da una solución de un problema.

La acepción algoritmo no está relacionada en forma exclusiva a las matemáticas, informática o a la ciencia de la ciencia de la computación.

En general, en la vida diaria emplean algoritmos en gran cantidad de casos para solucionar distintos problemas. Podemos dar ejemplos, como el uso de una lavadora (se guía del manual de instrucciones), para cocinar (se procede a usar recetas). De forma similar se hallan ejemplos de carácter matemático, como el algoritmo de multiplicación del producto de dos números, el algoritmo del método de causas para hallar sistemas de ecuaciones, o el algoritmo de común divisor de dos enteros positivo.

El término algoritmo también se puede definir como el sistema por el cual se alcanza una solución, con la condición que deben ser: claro, discreto o finito y preciso.

Por preciso comprendemos que cada paso a seguir tiene una lógica o un orden finito o discreto lo que indica un determinado número de pasos bien definidos.

Estructura básica del algoritmo: Inicia datos de entrada, cooperaciones básicas, procesamiento de datos de salida y fin.

2.2.1.3. Implementación

Algunas veces en una red neuronal biológica (por ejemplo, el cerebro humano implementa la aritmética básica o, incluso, una rata sigue un algoritmo para conseguir comida), también en circuitos eléctricos, en instalaciones industriales o maquinaria pesada.

El estudio y análisis de los algoritmos es un campo de las ciencias de la computación, y generalmente para los casos complejos es totalmente abstracto sin el uso de algún tipo de lenguaje de programación u otra implementación; por tal razón tiene participación recíproca con las

características de las disciplinas matemáticas. Por consiguiente, el análisis de los algoritmos se basa en los principios elementales del algoritmo, no en caso de la implementación individual. Una forma de expresar (o de codificar) un algoritmo redactarlo en pseudocódigo o usar un lenguaje muy elemental tal como léxico donde los códigos pueden estar en el lenguaje del programador.

Algunos autores limitan la definición de algoritmo a procedimientos que limitan su accionar en tiempo y espacio en tanto toman en consideración procedimientos que podrían ejecutarse sin tener que detenerse en el tiempo, imaginando en el caso en el que hubiera algún instrumento físico que fuera capaz de funcionar perennemente. Siendo este caso la terminación con éxito del algoritmo no se podría definir como la finalización de éste con un recurso satisfactoria o más bien que el logro estaría preciso en función de las secuencias de salidas realizadas en un lapso de tiempo de vida de la ejecución del algoritmo.

2.3. Marco filosófico

La tierra es parte integrante de los planetas del sistema solar, el tercero en el orden con respecto a la distancia al sol y el quinto por su dimensión. Dista del sol 149.476.000 Km. y posee una atmósfera compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno.

La ciencia describe que surgió a partir de un átomo primigenio en el cual se concentraba toda la masa y energía.

Existen teorías conocidas sobre el inicio del universo, sin embargo Aristóteles suponía que la tierra era estática y que el sol, la luna, los planetas y las estrellas se desplazaban en

órbitas alrededor de ella. Creía que la tierra era el centro del universo y de que el movimiento circular era el más perfecto (Astromia, 2012).

Más adelante las teorías refieren a una gran explosión, donde todo se hallaba inicialmente concentrado y después de la explosión la materia salió expulsada en todas las direcciones con gran energía, esta teoría es conocida como: La teoría del Big Bang o gran explosión, la misma que se basa en observaciones y es matemáticamente correcta (UNESCO, 2014).

Las interrogantes para conocer el origen del universo físico, surge a partir de la necesidad de supervivencia, observando la naturaleza y los movimientos de los cielos. El primer pensamiento fue idealizar un universo estático, considerando a la tierra en su centro y los planetas incluido en sol en orbitas complicadas sobre un fondo fijo de estrellas (modelo geocéntrico de Claudio Ptolomeo I), con ello se resolvió el movimiento planetario incluida la luna (universo estático). El modelo heliocéntrico, consideró a la tierra en movimiento y carecía de datos experimentales, posteriormente Nicolás Copérnico permitió la comprensión global, reemplazando de esta manera la teoría geocéntrica (UNESCO, 2014). Isaac Newton se basó en una teoría física y justifica el por qué los cuerpos caen con la misma aceleración, considerando que el espacio y el tiempo son constantes y el universo permanece infinito, eterno e inmutable.

De Sitter en 1917 plantea por primera vez que el universo no es estático, lo que conlleva a infinitas soluciones en las cuales el espacio varía en función del tiempo.

A partir de estas teorías se describe que la tierra está expuesta a dos tipos de fuerzas:

a. Fuerzas internas

Son el resultado de las diferentes acciones que se generan en el interior de la corteza de la tierra, produciendo grandes cambios volumétricos significativos en la morfología

del relieve de la tierra. Estos cambios volumétricos son precedidos de movimientos horizontales, verticales y transformantes (Ballardo Reyes, 2016).

- **Tectonismo**

Estudia la corteza terrestre incluyendo sus movimientos o desplazamientos lentos de ascenso y descenso, las alteraciones súbitas y cambios bruscos en la estratificación de las rocas que pueden ser orogénicas o epirogénicas. (Ballardo Reyes, 2016).

Epirogénicos: Del griego epeiros que se refiere a continente; son desplazamientos continentales lentos.

Orogénicos: Del griego oros que se refiere a montañas; son los procesos que originan las cadenas montañosas del planeta tierra. Estos procesos de movimientos generan alteraciones de las montañas causando deformaciones, agrietamientos y formación de plegamientos.

Las fallas, plegamientos, hundimientos y otros que preceden al movimiento, se originan por la actividad interna de la tierra, presentan características muy complejas y variadas en cuanto a su extensión y forma. La falla generalmente noes aislada paralelas, concéntricas o radiales. Existen también otro tipos de fallas como:

Normales, inversas y transformantes (Ballardo Reyes, 2016).

- **Vulcanismo**

Comprende al fenómeno geológico que ocurre con las actividades del magma o rocas fundidas que emergen desde el interior de la tierra de forma violenta en forma de materiales piroclásticos con que alcanzan elevadas alturas y temperatura. Estas además generan lavas y cenizas que afectan al ecosistema.

El fenómeno del vulcanismo generalmente ocurre en la zonas dorsales de la corteza terrestre que vienen precedidas de movimientos volcánicos y activan las fallas tectónicas cercanas (Ballardo Reyes, 2016).

b. Fuerzas externas

Son los agentes de la configuración del relieve emergido como consecuencia de los cambios que ocurren por la actividad generada por los agentes externos y la composición química de las rocas, y que experimentan cambios volumétricos en la morfología del relieve terrestre (Ballardo Reyes, 2016).

Estas actividades se pueden notar en los procesos de meteorización, tal como: Acción eólica de las rocas, fluvial, acción de las aguas subterráneas, acciones marinas y glaciales. La gravedad genera movimientos equilibrados muy intensos que se observan en nuestra galaxia; movimientos orbitales de la luna alrededor de la tierra, movimientos orbitales de los planetas alrededor del sol, etc. A escala galáctica parece ser la interacción prevalente, pues gobierna la mayoría de los fenómenos a gran escala, es así que la gravedad es un fenómeno natural por el cual los objetos con masa son atraídos al centro de la tierra, lo que condicionaría el comportamiento de las edificaciones y la resistencia de las losas diversas a las cargas expuestas.

El concepto de equilibrio o estabilidad es uno de los conceptos centrales en el desarrollo de toda comunidad y en la antropología filosófica, es preciso mencionar que es un tema complejo de manejar ya que intervienen varios factores en el análisis, esto significa que cada análisis tendrá una concepción diferente aunque este se encuentre orientado a un mismo fin.

El analizar la estabilidad de las edificaciones se relaciona con la vida del ser humano, ya que engloba términos de conocimiento específicos y factores externos de la vida de cada individuo.

En cualquier caso no debe entenderse como un patrón homogéneo y armónico, en vista de que existen varios indicadores.

Considerando que la estabilidad de las edificaciones supone desde el punto de vista filosófico todo desarrollo social y tiene implicancia sobre la totalidad de las personas, consecuentemente existe una correlación entre los fenómenos de crecimiento demográfico, crecimiento urbano e incremento de edificaciones de diversas alturas, que se explica de la siguiente manera: El crecimiento demográfico trae consigo el crecimiento urbano por la necesidad de responder a las necesidades de vivienda, cobertura de servicios públicos y obras de infraestructura, lo que a su vez es una necesidad por el incremento poblacional en zonas urbanas, que a toda vista es un crecimiento vertical en las ciudades modernas. El asunto central es que el crecimiento urbano es el reflejo del crecimiento poblacional y este punto es clave, porque mientras más gente exista en una comunidad mayor cantidad de necesidad de vivienda existirá en ella, ya que es precisamente la población es quien necesitara vivienda.

2.3.1. Pensamiento Sistémico

El pensamiento sistémico es el comportamiento del ser humano, que se basa en la apreciación del mundo real en términos de globales para su análisis, accionar y comprensión, en contrapresión a diferencia del planteamiento del método científico, que únicamente percibe partes de éste y de manera aislada.

El pensamiento sistémico surge formalmente hace aproximadamente 45 años atrás, a partir de las discusiones que desde el campo de la Biología realizó Ludwing Von Bertalanfy, quien discutió la aplicación del método científico en los problemas casual y mecanicista, que no tenía un basamento estructurado como esquema para la explicación de los problemas complejos que se dan en sistemas vivientes.

Este discusiones y dudas lo condujo a plantear lo llevó a plantear un reformulamiento global en el modelo intelectual para entender mejor el mundo que nos circunda, aconsejando formalmente el paradigma de sistemas.

El pensamiento sistémico es integrador, en el análisis de las situaciones así como en las conclusiones se inician a partir de allí, planteando soluciones considerando múltiples elementos y relaciones que componen la estructura de lo que se define como “sistema”, de igual manera de todo aquello que conforma el entorno del sistema definido. El basamento filosófico en el que se apoya esta posición es el Holismo (del griego holos = entero).

Bajo el enfoque de sistemas, la realidad que logra el observador que utiliza este campo, se establece por una interrelación entre el objeto observado y él, siendo su “realidad” consecuencia de un proceso de establecimiento entre él y el objeto observado, en un lapso de espacio – tiempo, conformándose dicha realidad en algo que ya no es externo al observador y conocido por todos, como lo propone el enfoque tradicional, sino que esa realidad se transforma en algo particular y personal, vislumbrándose claramente entre lo que es el mundo real y la realidad que cada observador comprende para sí. Las filosofías que se retroalimenta el pensamiento sistémico contemporáneo son la fenomenología de Husserl y la

hermenéutica de Gadamer, que a su vez se provee del existencialismo de Heidegger, del historicismo de Dilthey y de la misma fenomenología de Husserl. La consecuencia de este enfoque sistémico, fenomenológico y hermenéutico es que hace posible notar la organización ya no como que tiene un fin preestablecido (por alguien), como lo que enfoca el esquema tradicional, sino que dicha organización puede tener variados fines en función de la forma cómo los implicados en su destino lo vean, surgiendo así la diversidad interpretativa. Estas visiones están supeditadas por los intereses y valores que posean dichos implicados, existiendo solamente un interés común focalizado en la necesidad de la supervivencia de la misma.

Así, el Enfoque Sistémico contemporáneo, aplicado al estudio de las organizaciones propone un enfoque interdisciplinaria, transdisciplinaria y multidisciplinaria que le ayudará a analizar a su empresa de manera global permitiéndole identificar y comprender con mayor transparencia y profundidad los problemas organizacionales, sus consecuencias y múltiples causas. De igual forma, “viendo a la organización como una entidad integrado, agrupado por partes que se interrelacionan entre si a través de una estructura que se desarrolla en un entorno concreto, se estará en capacidad de poder descubrir con la amplitud requerida tanto la problemática, como los procesos de transformación que de manera integral, es decir a nivel humano, de recursos y procesos serían necesarios de implantar en la misma, para tener un crecimiento y desarrollo sostenibles en términos viables en el tiempo”.

2.3.2. Visión sistémica de la vida

La visión de la vida y del mundo según la ciencia moderna es holística y ecológica. Pone énfasis en la fundamental interrelación e interdependencia de todos los fenómenos y en la naturaleza intrínsecamente dinámica de la realidad física. Par hacer extensiva esta perspectiva a la descripción de los organismos vivientes debemos ir más allá de la física y, es a la llamada teoría de sistemas, la cual no es una teoría propiamente dicha, sino más bien, es una aproximación, una perspectiva, un lenguaje, un paradigma.

La perspectiva sistémica ve el mundo en objetos de integración y relaciones. Los sistemas son totalidades integradas con propiedades específicas que no pueden ser identificadas con las propiedades de sus partes constituyentes. Pudiendo afirmarse en los pilares fundamentales o en las sustancias básicas, la aproximación de sistemas enfatiza los principios de organización. En la naturaleza hay infinidad, los ejemplos de sistemas. Todo organismo viviente, desde la minúscula bacteria discurriendo por toda la variedad animal y vegetal hasta los seres humanos, es una totalidad integrada y por ende un sistema viviente. Las células son sistemas vivientes como los distintos órganos y tejidos del cuerpo, siendo el cerebro humano el ejemplo más completo y complejo.

Pero los sistemas no se restringen a los organismos individuales y sus partes. Las mismas características de conjunto pueden apreciarse en los sistemas sociales: como la familia o la congregación y en los ecosistemas, constituidos por una versatilidad de materias inherentes y organismos y en recíproca interacción.

Todos estos sistemas naturales son conjuntos cuyas estructuras específicas emanan de las interacciones y de la dependencia interna de sus partes. Las propiedades sistémicas se aniquilan cuando un sistema es analizado teórica

físicamente en elementos aislados. Sin embargo podemos notar las partes individuales en cualquier sistema, la naturaleza del total es siempre diferente a la simple suma de sus partes.

Otro aspecto importante de los sistemas es su naturaleza intrínsecamente dinámica, donde sus formas no son estructuras rígidas sino manifestaciones.

Un aspecto interesante de los sistemas vivientes es su tendencia a formar estructuras de sistemas dentro de otros sistemas. Por ejemplo, el cuerpo humano contiene sistemas compuestos por varios órganos. A su vez, cada órgano está constituido por tejidos y cada tejido, por células. Todos ellos son organismos vivientes o sistemas formados por parte más pequeñas y, al mismo tiempo actúan como parte de conjuntos mayores. Los sistemas vivientes consecuentemente exhiben un orden estratificado y se manifiestan en interconexiones e interdependencias entre todos los niveles de sistemas, y cada nivel interactúa y se comunica con su entorno total.

Por lo tanto, la perspectiva de sistemas es una noción ecológica. En ella destaca la interrelación y la interdependencia de todos los fenómenos y la naturaleza dinámica de los sistemas vivientes. Toda estructura es vista como una manifestación de proceso subyacente y los sistemas vivientes son descritos como pautas de organización. Estas últimas comprenden una variedad de procesos y fenómenos que pueden verse como diferentes aspectos de un mismo principio dinámico: el principio de auto-organización. Un organismo viviente es un sistema auto-organizado, lo que significa que su orden no es impuesto por el entorno sino que es establecido por el sistema mismo. Los sistemas auto-organizados demuestran un cierto grado de autonomía; Esto no significa que los sistemas vivientes estén aislados de su entorno, por lo contrario, interactúan con

él continuamente, pero esta interacción no determina totalmente su organización.

2.3.3. Paradigma de la tecnología y evolución

Los paradigmas más adecuados para estudiar la evolución científico – cultural son los tecnológicos. Los cambios debidos a la tecnología son tan evidentes y penetrantes que nos ofrecen una variadísima gama de imágenes para describir la cultura contemporánea. La tecnología es a la vez modelo y modeladora, crea y refleja el entorno del cambio. La tecnología en tanto es “mito”, es una metáfora sumamente apta para la estructuración del cambio social.

El hombre ha acelerado mucho el proceso de evolución al desplazar el foco del desarrollo desde su propio cuerpo a su entorno más o menos mediático. La evolución cultural (tecnológicamente motivada) sustituye a la evolución biológica (que necesita mutaciones genéticas y cambios ambientales). Es decir, la evolución del hombre ha tenido mucho más de tecnología que de biológico. Y el hombre está llegando, lógicamente, al estadio de crear su propio entorno. De esta forma se convierte en el primer ser que ha creado un mundo propio que, a su vez lo crea a él. Por otra parte, la tendencia específica humana a modelar y modificar su entorno, y a ser modificado por él, adquiere una nueva dimensión en el campo de la experiencia.

El hombre no solo perfecciona, sino inventa, y cada nuevo paso tecnológico lo proyecta hacia fuera, ampliando su radio de acción y modificando su mundo. Al inicio, el hombre extendió su sistema osteo–muscular a través de la maquina: desde una primitiva palanca hasta una polea múltiple, de la rueda al motor y, en fin, todo lo que ha potenciado su capacidad motriz. Después, el hombre amplió el radio de acción del lenguaje a través de la tecnología de la escritura: del papiro

al papel, de la imprenta a la fotocopia. Finalmente, ahora el hombre se encuentra comprometido en la expansión de su sistema nervioso central también tecnológicamente, por medio de la electrónica, de los transistores, del láser.

Según lo que dice Marshall Maculan (1962): “Durante los tres mil años que duró la era mecánica extendimos nuestros cuerpos en el espacio: actualmente, tras casi un siglo de tecnología electrónica, hemos extendido nuestro sistema nervioso de una forma global. Ahora, nos acercamos rápidamente al estadio final de la extensión del hombre, la simulación tecnológica de la conciencia.”⁵⁶

De esta forma y consecuentemente, la tecnología electrónica de hoy ha creado un mundo de comunicación instantánea, haciendo cada vez más inútil y obsoleto el mundo de fronteras y naciones. El mundo se ha convertido en un problema grande. Conforme nuestra tecnología electrónica se desarrolla y expansiona nos alejamos de las máquinas para orientarnos hacia un mundo de la información y de las comunicaciones, de modelos y relación.

Es decir, que conforme proyectamos nuestra conciencia hacia el mundo, éste se transforma en un “cerebro global”, una compleja red cuya importancia radica en sus conexiones; y, en donde las líneas paralelas de la ciencia y de la estética se encuentran. Las maquinas mecánicas multiplicaron la fuerza, la electrónica multiplica la información y, en un futuro próximo, quizá supere la máquina, para ir más allá de nuestro coercitivo entorno.

Cabe decir, entonces, que la tecnología ha impulsado tres desplazamientos paradigmáticos fundamentales⁵⁷:

1°.- Paradigma mecánico.

⁵⁶ Marshall Maculan, Tecnología y Evolución, Madrid. Publicaciones Sistémica ,1962.

⁵⁷ Makabe, Pedro. El Cambio Epistemológico. Perú. Ed. San Marcos. 1989

2°.- Paradigma comunicacional.

3°.- Paradigma supratecnológico-organísmico-ecosistémico

1°. Paradigma Mecánico.

El paradigma mecánico corresponde al de las máquinas de trabajo, las que aumentan el potencial de fuerza física, que iría desde la palanca más sencilla y la rueda al motor de combustión interna y a los reactores.

Específicamente, este periodo corresponde a la Primera Revolución Industrial, que se inicia a mediados del siglo XVIII, y cuya tecnología fue desarrollando máquinas de trabajo cada vez más refinadas. Los “motores naturales” (hombres y animales) fueron reemplazados por motores de calor, artificialmente contruidos en base a la capacidad de transformación de la energía de calor en trabajo.

La tecnología de los siglos XVIII y XIX tenía una abrumadora preocupación por la energía. La máquina fue interpretada esencialmente como una extensión del brazo y la mano; incrementada, y que encausaba la energía. Aquella fue la era de la mecánica y de la transferencia de la energía: el modelo maquinal era la metáfora rectora. Tanto así, que hasta los filósofos trataron de explicar al hombre como si fuera una máquina: “L’homme Machine”.⁵⁸

- **La Concepción Mecanicista**

Fue desarrollada en los siglos XVII y XVIII por Descartes, Galileo, Bacon, Newton y otros. Desde esa época, la concepción predominante del

⁵⁸ La Mettrie, Edw. L’Homme Machine. Mexico. Ed.Trillas. 1947.

hombre y del mundo en las ciencias fue la de una máquina. Descartes (1596-1650) sostuvo su visión de la naturaleza en una división esencial que separaba dos dominios: la materia y la mente.

El universo material era una máquina. La naturaleza se regía con las leyes mecánicas. Todo se explicaba según la disposición y movimiento de sus partes. Este pensamiento se extendió a los organismos vivos. Los animales y las plantas fueron considerados máquinas; los seres humanos eran máquinas que estaban habitadas por un alma racional.

Uno de los principios básicos del método cartesiano era dividir las dificultades de un determinado sistema, en tantas partes como fuera posible y, luego analizar estas partes separadamente, en la creencia de que el conocimiento de los aspectos más complejos emergería eventualmente del análisis reduccionista. Entonces, la naturaleza del acercamiento cartesiano al conocimiento fue su método analítico de raciocinio por medio de la disgregación de los conceptos y problemas en segmentos que luego eran ordenados según la razón. Esto se convirtió en la característica fundamental del pensamiento científico y ha demostrado ser muy útil en la acumulación tecnológica y en la evolución de las teorías científicas.

También el excesivo realce del método cartesiano ha implicado a la fragmentación de las disciplinas académicas como del pensamiento general, con una extendida actitud reduccionista en las ciencias; la creencia en que todos los fenómenos complejos podrían ser atendidos mediante su reducción a las partes que los constituyen.

El marco cartesiano fue magistralmente concluido por Newton (1643 - 1727), quien desarrolló una sólida formulación matemática del

conocimiento mecanicista de la naturaleza. Hasta la finalización del siglo anterior, este modelo newtoniano del universo reinó todo el pensamiento científico. Así como las ciencias sociales y naturales admitieron todo el conocimiento de la física clásica, así como la adecuada descripción de la realidad y adaptaron sus propias teorías de acuerdo a ese pensamiento.

En el siglo pasado, muchas veces, los psicólogos o sociólogos, para dar un ejemplo querían ser científicos, se basaban directamente a los conceptos de la física newtoniana.

2º. Paradigma Comunicacional.

El paradigma comunicacional correspondería al período de las máquinas de información, que comienza alrededor de la segunda guerra mundial y se prolonga hasta nuestros días. En este periodo, el énfasis se centra en la tecnología electrónica más que en la tecnología del trabajo.

Más específicamente, corresponde a la Segunda Revolución Industrial, cuya tecnología desarrolló máquinas que no estaban destinadas a producir energía sino información, como las computadoras. Esta nueva tecnología nació como consecuencia de las necesidades militares, en especial para controlar las baterías antiaéreas. Casi todas las máquinas que actúan por control remoto evolucionaron a partir de instrumentos diseñados para detectar y derribar aviones enemigos. Aunque seguían siendo máquinas, no realizaban trabajo alguno, sino que recopilaban información. Los intercambios de energía requeridos eran infinitesimales. Muchas de las máquinas electrónicas no siembran ni siegan, pero pueden controlar a otros que lo hacen. Es en este período en que aparece la Cibernética.

Esta ciencia contemporánea fue creada y desarrollada por el sabio estadounidense Norbert Wiener ⁵⁹, quien en 1948 publicó su obra titulada “Cibernética”, la cual despertó un gran interés en los medios científicos, que ha ido acrecentándose hasta la actualidad.

Etimológicamente, la palabra cibernética procede de la palabra griega kubernetes, que significa timonel, piloto, “el que guía”, “el que gobierna”. Platón (S. IV a.C.) la usó en varios de sus diálogos filosóficos; en el gorgias se puede leer: “...la cibernética salvada de los más grandes peligros no sólo las almas, sino también los cuerpos y los bienes”; es decir, dicho término se refería al arte del pilotaje. En “La República” de Platón la cibernética se entiende como la función de gobernar.

La palabra también figura en la Biblia: en los hechos de los apóstoles y en los Libros de la Revelación.

En 1834 el sabio francés Ampère, al clasificar las ciencias, consideró a la cibernética dentro de la política, por tratarse de los medios para gobernar, junto con la teoría del poder.

En el mismo siglo XIX el físico escocés J. C. Maxwell (1831 - 1879) utilizó el término inglés “governor” (regulador) –derivado del latín “gubernator” – para simbolizar un mecanismo de realimentación, como el servomotor del timón de un barco.

En el siglo XX, la especialización en las ciencias trajo consigo la limitación del saber en campos reducidos y desvinculados unos de otros. Buscando el

⁵⁹ Wiener, Norbert. Cibernética y Sociedad Traducido por José Novo Certo. Buenos Aires. Ed-sudamericana, 1990.

modo de remediar esa limitación aparecen, a mediados de este siglo, reuniones de estudios de diferentes disciplinas y especialidades, con el objeto de llegar a un entendimiento recíproco y de conjunto: cooperación científica. De este esfuerzo surgió la cibernética. Uno de los participantes en esas reuniones multidisciplinares, Norbert Wiener, escribió por esos años: “...tengo la convicción de que las áreas más fructíferas para el desarrollo actual de las ciencias son aquellas que han sido abandonadas como tierra de nadie entre varios campos establecidos...Son esas regiones fronterizas de las ciencias las que ofrecen las mejores oportunidades para el investigador calificado”⁶⁰. La cibernética pues, es una ciencia de integración, de amplio contenido, y de múltiples aplicaciones.

- **Nociones Básicas Del Paradigma Cibernético**

Wiener define a la cibernética como “la ciencia del control y la comunicación”.

Hasta ese momento la ciencia manejaba conceptos tales como “energía, fuerza y potencia”, lo que había originado una tecnología cuyos frutos iban desde el motor de combustión interna hasta las centrales nucleares. Mientras que, la cibernética maneja conceptos tales como “información, comunicación, fiabilidad y realimentación”, lo que originó una tecnología correspondiente, cuyo ejemplo más representativo es el computador digital.

⁶⁰ Idem a 59.

Las nociones fundamentales del paradigma cibernético (comunicación y control) están estrechamente relacionadas con interconexiones e interdependencias a diferentes niveles. El estudio de la comunicación se refiere a la emisión, trasmisión, recepción y almacenamiento de información. El objetivo es llevarlos a cabo de la forma más eficaz posible.

El estudio del control consiste en la consideración de la interdependencia entre sistemas, y su empleo para conseguir y mantener la estabilidad del comportamiento de aquellos sistemas. Vale decir, que el control no se refiere al principio regente, sino como un proceso capaz de hacer que los elementos de un sistema se relacionen unos con otros dentro de los límites específicos que permiten la adaptación al contexto. La adaptación controlada es esencial para el crecimiento de los sistemas vivientes, lo que permite la diferenciación en las partes del sistema y su desarrollo armonioso en relación con su contexto. Más bien, el crecimiento incontrolado lleva a la destrucción de los sistemas vivos. Según Parra (1968), la cibernética es “la conciencia de que todo está relacionado con todo, y el arte de detectar heterarquías de relaciones privilegiadas. Es el arte y la ciencia de desarrollar modelos de procesos orgánicos de crecimiento”⁶¹.

- **Cibernética y Ciencias Humanas**

Para Blauberg (1977), la cibernética es “el arte de lograr conjugación entre personas que comparten, a distancia niveles, metas e ideales”⁶².

⁶² Blauberg, Igor. La Historia de la Ciencia y el Enfoque de Sistemas. URSS. Academia de Ciencias. 1977.

Según Komblit (1967), la cibernética es “la esencia del humanismo y de la relación íntima entre la conciencia colectiva y la especialización individual”⁶³.

Las definiciones relevantes para las ciencias humanas, deducidas del modelo cibernético, son:

a. Homeostasis: termino introducido por Shanon⁶⁴ en 1969, para describir la constancia del medio interno fisiológico; fue aplicado en ciencias sociales para identificar un principio balanceador y estabilizador, capaz de neutralizar la mayor parte de los cambios que los agentes externos intentan imprimir al sistema.

b. Retroalimentación: o feedback; explica el funcionamiento de los servomecanismos; alude a la forma de relación circular en la que dos o más hechos pueden estar vinculados entre sí, en oposición a la concepción de la relación lineal causa – efecto. La realimentación es el empleo total o parcial de la salida (OUTPUT) de un sistema para activar un segundo sistema, que a su vez regula de algún modo la salida del primero. Los sistemas vivientes introducen cambios en su ambiente. El proceso puede ser “positivo” o “negativo”. La retroalimentación es positiva cuando un incremento verificado en cualquier punto del circuito incrementa la magnitud del próximo hecho en la secuencia. En esta forma, a través de la amplificación, el sistema puede destruirse, por ejemplo la llamada “escalada simétrica” que se

⁶³ Komblit, Analía. Nuevos Paradigmas de las Ciencias Humanas. Actas de Psiquiatría y Psicología. Buenos Aires. Argentina. 1987

⁶⁴ Shannon, C. y Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. EEUU. Illinois University. 1949.

da en una relación conflictiva, lo que lleva a que cada una de las partes incremente su necesidad de triunfar sobre la otra, aun a expensas de la destrucción del sistema. Pero, la retroalimentación también puede ser negativa, la cual tiene un papel esencial en la estabilización del grupo familiar, al mismo tiempo que se sostiene que contribuye de un modo significativo al mantenimiento de la sintomatología crónica en un miembro del grupo; ya que la familia posee una organización que sus miembros se afanan activamente por mantener.

c. Circularidad versus Linealidad: son términos que se refieren a dos tipos de patrones en cuanto a las conexiones entre ellas. El patrón lineal describe una secuencia del tipo A B C. Mientras, el patrón circular describe un bucle cerrado (realimentación) recursivo, por ejemplo: A B C A. también se diferencian por la importancia que otorgan al tiempo y al significado. La linealidad está ligada a un marco de referencia de progresión temporal continua: pasado presente futuro. Por el contrario, la circularidad toma en cuenta las relaciones recíprocas basadas en el significado, enfatizan la relevancia que tiene los hechos entre si, y como un cambio de un elemento implica un cambio en otro. En los sistemas lineales, la causa y el efecto están por lo general próximos en el tiempo y la secuencia temporal puede identificarse claramente: a la fecundación sigue la gestación y luego el parto, en forma de esquemas prefijados. En los sistemas complejos, (grupos humanos), en los que hay una multiplicidad de bucles de realimentación en interacción, en el elemento disparador de un hecho

puede estar situado lejos en el tiempo o en un aspecto diferente y remoto del sistema, con respecto al hecho en cuestión.

El modelo cibernético no es completamente eficiente algunos procesos que se producen procesos que ocurren en sistemas en extremo complejos, como los grupos humanos, que se realizan procesos interactivos existentes desde hace mucho tiempo. No puede explicar, por ejemplo los procesos evolutivos que conducen al sistema a niveles superiores de la complejidad, ni los “saltos discontinuos” en la evolución, ni los fenómenos de creatividad. Lo que parece capaz de explicarlos son procesos que tienen lugar en un sistema recortado en el tiempo y en el espacio. Por el contrario, los grupos humanos de interacción continúa son entidades sometidas a ciclos vitales.

Dada la complejidad de los procesos del grupo familiar, se prefiere introducir la variable tiempo como continuán. En las sociedades humanas las modificaciones de los sistemas se desarrollan en relación con el factor temporal. El objeto de estudio sería la interacción de los elementos constitutivos de los sistemas a lo largo de un continuo temporal, y no tomada aisladamente, en un corte sincrónico.

Los que iniciaron el desarrollo de la cibernética no creían que su tarea fuese restringida a la ingeniería, más bien, ellos estaban convencidos que estos principios tenían una aplicación universal para la comprensión de los procesos del comportamiento. Por ello, las ideas cibernéticas no pasaron inadvertidas a los científicos que estudian los sistemas psicológicos, económicos y sociales. Estas nuevas concepciones, útiles y exitosas en la ingeniería, ofrecían nuevas puntos de vista para estudiar

el comportamiento de los organismos vivos; la organización y el funcionamiento del sistema nervioso, empezaron a considerarse desde otras perspectivas: como un sistema de comunicación en el que los “mensajes” son codificados y transmitidos, y como un sistema de control que regula la actividad voluntaria e involuntaria. Así también se ha estudiado la memoria humana. La cibernética pretende encontrar los elementos comunes al funcionamiento de máquinas automáticas y sistema nervioso humano, desarrollando una teoría que sea capaz de abarcar todo el campo de control y la comunicación en las máquinas y en los organismos vivos. Es decir, que bajo una misma rubrica converjan el estudio del pensamiento humano y de la comunicación y control. Según Guang Tapia, “al comparar los dominios de la cibernética y de la psicología, podríamos llegar a la conclusión de que los procesos informacionales son objetos de estudio por parte de ambas ciencias, de que la psicología entra por completo dentro del complejo de la rama cibernética del conocimiento, y de que la psicología puede considerarse como una parte de la cibernética”⁶⁵. En sociología, los estudios de las redes de comunicación han contribuido en el análisis de las formas de influencia en los grupos humanos. También se ha aplicado en las ciencias económicas, en especial la teoría del control. Según Haselhoff (1980)⁶⁶, la cibernética moderna comprende una teoría de los sistemas, como ciencia esencial general; una ingeniería cibernética, como teoría de la elaboración de la técnica de regulación

⁶⁵ Guang Tapia, Enrique. El Enfoque Sistémico Comunicacional de la Familia. Quito. Ed. Elre. 1983.

⁶⁶ Haselhoff, Teoría de sistemas y la Cibernética, Illinois University.1980.

como de la información; una biocibernética, como aplicación de los principios cibernéticos a los problemas de la adecuación de los organismos; y una socio cibernética, como aplicación de principios cibernéticos a la optimización de las decisiones racionales frente a una información incompleta”.

2. Hacia La “Segunda Cibernética”

La cibernética se ha enfocado al problema de observación de sistemas. Un segundo nivel, reciente, incluye también el problema de observar sistemas que a su vez observan: la cibernética de “segundo orden”.

Burton (1986)⁶⁷, de la Universidad de California, sostiene:

“Las teorías de la información y de sistemas son útiles para articular problemas tradicionales en epistemología”.

Las ideas sobre una teoría de sistemas de la epistemología requieren conceptos de la cibernética de “segundo orden”.

El desarrollo de los conceptos de esta nueva cibernética se basa en condiciones sociales y humanas.

Por lo tanto, el desarrollo de esta nueva cibernética debe depender del desarrollo de las ciencias humanas para explorar las relaciones entre la conciencia humana, las condiciones sociales y el conocimiento científico.

⁶⁷ Burton, Teoria de sistemas, Universidad de California, Illinois University.1986.

Uno de los que ha brindado los mayores aportes a esta “segunda cibernética” es el biólogo chileno Humberto Maturana (1984), quien expresa: “Todo el que observa está incluido en lo que quiere conocer”. Por lo tanto, la cibernética de “primer orden” incluye sólo al sistema observado (excluido el observador). Mientras que, la cibernética de “segundo orden” incluye al sistema observado y también al sistema observador. Con esta última es posible llegar a comprender los sistemas de gran complejidad, que eran difíciles de entender con la primera. Maturana dice: “Todo conocer depende de la estructura del que está conociendo”⁶⁸.

3°.- Paradigma Supratecnológico – Organismico – Ecosistemico

El paradigma supra tecnológico – organísmico – ecosistémico, que se halla en estado emergente, no puede considerarse como una extensión tecnológica igual que las anteriores, sino como una consecuencia tecnológica que va más allá de la tecnología y, que se halla impreso en la propia vida organísmica. La tecnología actual ha hecho del mundo una compleja red de conexiones sinápticas semejantes a un enorme cerebro extrapersonal, que representa la creación de un ambiente que está organizado al igual que el sistema nervioso central, esto es, sinópticamente. En nuestra época, es evidente que vivimos en un mundo de interdependencia, en el que todo y todos estamos de alguna manera interrelacionadas. Esta nueva visión del mundo fue sistematizada, al inicio, por L.V. Bertalanffy y su **Teoría General de Sistemas**.

⁶⁸ Maturana, Humberto. El Árbol del Conocimiento: Las Bases Biológicas del Entendimiento Humano. Chile. Ed. Universitaria. 1984.

2.4. Marco Conceptual

a) Algoritmo: Según Wiki (página web); Es un conjunto discreto de pasos o instrucciones que se usan para solucionar un problema o una tarea. De una manera rigurosa, un algoritmo es un proceso finito de operaciones realizables, no dudosas, cuya operación da una solución de un problema.

Es una secuencia de reglas que representan un prototipo de solución para un tipo específico de problemas.

b) Bordes: Son las periferias que tienen las losas estructurales y en muchos casos tienen contacto con la resistencia de carga a la que son sometidas.

c) Bordes de losa: Son los filos de una baldosa limitada por paredes asociadas o definidas manualmente. Losas pueden estar compuestas por todos los bordes limitados automáticamente, todos los bordes manuales o una combinación de ambos, según los requerimientos del diseño.

d) Bordes manuales: Son los que no están asociados o limitados por paredes; sólo pueden ser transformados con la herramienta Transformar o en [Modo editar objetos](#), y sus componentes de desplazamiento de borde son determinados por desplazamientos numérico.

e) Conocimiento: Es el enfoque que se le da a la información en un área específica del saber. También se dice que es la información más un valor agregado genera el conocimiento; y que este permite tomar decisiones y actuar.

f) Construir: Es el arte o técnica de edificar una infraestructura.

g) Dato: un dato es un conjunto discreto, de factores objetivos sobre un hecho real. Un dato no es suficiente para entender de las cosas y por ello no tiene mucha finalidad o importancia.

- h) Deformación:** Son cambios volumétricos que experimenta una estructura al ser aplicadas las cargas
- i) Deformación estructural:** Son variaciones en la forma de la estructura debido a la aplicación de cargas aplicadas. Desde otro ángulo es el cambio volumétrico de un cuerpo, producto del esfuerzo, se supone como un cambio lineal, el cual va acompañado de un cambio de esfuerzo.
- j) Elementos finitos:** Es un área de la Matemática pura de ecuaciones diferenciales parciales para soluciones de aproximación, muy complejas; que se usan para determinación de aproximaciones con métodos matemáticos y es utilizado en diversos problemas de [ingeniería](#) y [física](#).
- k) Información:** Es datos más un valor agregado, que se utiliza en diversas áreas de conocimiento, y en otros casos la información se vuelve datos y el conocimiento previo que se le dé se convierte en información para la toma de decisiones y acciones a tomar.
- l) Interpolación:** En el subcampo matemático del análisis numérico, se designa interpolación a la generación de nuevos puntos que se obtienen de un conjunto finito de puntos. La dificultad de una interpolación es el grado de acercamiento de una función más sencilla.
- m) Losa:** definición del The free dictionary BY FARLY

(<https://es.thefreedictionary.com/losa>):

1. *S. f. CONSTRUCCIÓN* Piedra plana y de poco grosor usada para revestir su elos o muros *un camino de losas lleva a la puerta de la mansión.*
2. Piedra que cubre una tumba *depositamos flores sobre la losa.* lápida
3. CAZA Trampa hecha con piedras pequeñas para cazar aves o ratones.
4. Lo que causa molestia o pesadumbre *la enfermedad de su amiga es una losa para él.* peso
5. Echar o poner una losa encima *coloquial* Asegurar que se guardará en

secreto la noticia que se le ha confiado a una persona.

Es una estructura plana con propiedades físicas y mecánicas de acuerdo al tipo de uso en una edificación.

n) Losas estructurales: (Definición del SlideShare)

(<https://es.slideshare.net/EdilioGonzalez/losas-definicion-y-clasificacion>)

Según la distribución de refuerzo; Reforzada 02 direcciones Losas armadas en dos direcciones, formada por vigas de borde de apoyo. Según su forma la estructural Losa plana no posee vigas ni traviesas que transfieran la carga a los elementos de apoyo. 5 jun. 2016.

o) Modelo: documento, gráfico o molde con determinadas características que sirve como pauta para ser imitada, o reproducida o copiada.

Esquema, que trata de representar la estructura de una edificación real en forma simplificada.

p) Procesos: secuencias de pasos o actividades para alcanzar una producción un servicio o realizar una gestión.

Conjunto de fases sucesivas de operación lógica – matemática de análisis estructural del modelo para lograr el resultado.

q) Resistencia: es la fuerza contraria que se opone a la acción o conocida también como la reacción de acuerdo a la ley de Newton.

Es la capacidad que tienen las estructuras para resistir las cargas sin agrietarse ni colapsar.

r) Sometimiento a cargas: es la actividad que realizarán las losas construidas con nuevos datos y definición de características de determinada topología y la aplicación de cargas a estructuras a la que son sometidas específicamente dentro del área de la Ingeniería Civil.

2.5. Hipótesis y Variables

2.5.1. Hipótesis principal

Mediante la aplicación del Método de algorítmico matemático de Elementos Finitos se resolvería la necesidad de datos y características para la construcción de losas de estructurales diversas sometidas a cargas específicas.

2.5.2. Hipótesis secundarias

- Con un Método algorítmico matemático de Elementos Finitos que consideraría datos y características para construir losas estructurales resolvería el comportamiento de las mismas frente al sometimiento de cargas.
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos mejoraría la determinación de las características de las resistencias para las diferentes condiciones de borde de las losas estructurales sometidas a cargas.
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos que incluya diferentes datos de diversos materiales mejoraría la construcción de losas estructurales sometidas a cargas.
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos que considere datos de diferentes tipologías geométricas mejorara las características de construcción de losas estructurales sometidas a cargas.

2.5.3. Variables e indicadores

2.5.3.1. Variables

2.5.3.1.1. Variables de la hipótesis principal

- **Variable independiente:**

Método algorítmico matemático de Elementos Finitos:

Presenta la siguiente dimensión

- Algoritmo Software Dinamic17.

– **Variable dependiente:**

Datos y características para la construcción de losas de estructurales diversas sometidas a cargas específicas, los diferentes casos:

- Tipos de cargas
- Tipos de materiales
- Tipos de apoyo
- Tipos de forma

2.5.3.1.2. Variables de las hipótesis secundarias:

- **Variable independiente:**

Método algorítmico matemático de Elementos Finitos

- **Variables dependientes:**

- Comportamiento de las losas frente al sometimiento de cargas.
- Características de las resistencias para las diferentes condiciones de borde.
- Construcción de losas estructurales sometidas a cargas.
- Características de construcción de losas estructurales sometidas a cargas

2.5.4. Definición conceptual de las variables

2.5.4.1. Método algorítmico matemático de Elementos Finitos:

Resuelve mediante procesos numéricos algorítmicos un sistema de ecuaciones complejas que representan modelos de losas de diferentes geometrías, resistencias, condiciones de borde y carga.

El algoritmo 1 representa numeración de nudos y los grados de libertad global de la losa (INPUTJ).

El algoritmo 2 representa la generación de códigos de identificación para restricciones de desplazamientos de la losa (XYZ).

El algoritmo 3 representa la generación del vector de cargas globales de la losa (FORMLD).

El algoritmo 4 representa la obtención de cargas equivalentes de cada elemento tipo losa (VCARGA).

El algoritmo 5 representa la función de forma o de interpolación de cada elemento losa (FORMA).

El algoritmo 6 representa la generación de la matriz de rigidez global de la losa (LOSA).

El algoritmo 7 representa la obtención de desplazamientos y esfuerzos (STRESS)

2.5.4.2. Comportamiento de las losas frente al sometimiento de cargas.

Las losas se comportan de forma diferente ante la aplicación de cargas perpendiculares a su superficie neutra según el tipo de carga (carga repartida, carga puntual) resultando esfuerzos y desplazamientos diferentes para cada estado de carga.

2.5.4.3. Características de las resistencias para las diferentes condiciones de borde.

Las condiciones de borde, contorno o apoyo influyen considerablemente en las características de resistencia en las losas.

2.5.4.4. Tipos de materiales

a) Características de las resistencias para los diferentes tipos de materiales.

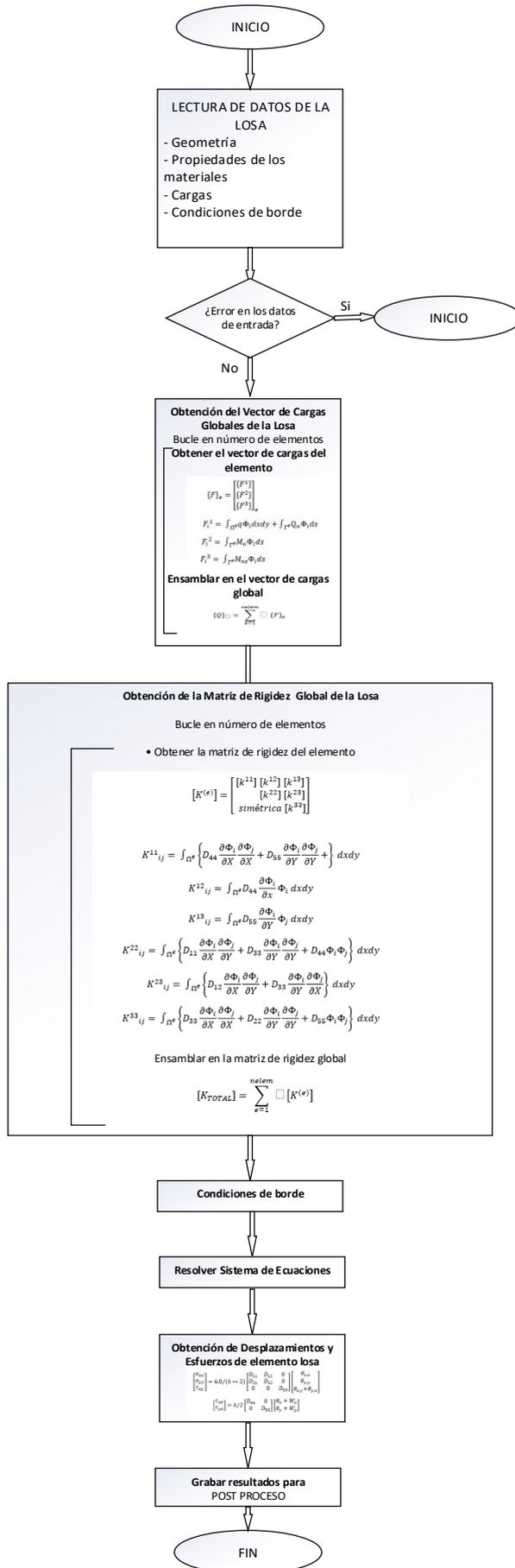
El tipo de material que se ha de emplear influye en el comportamiento y características de resistencia estructural de la losa.

2.5.4.5. Características de los desplazamientos y de formaciones para diferentes condiciones de borde.

Las condiciones de borde o de contorno de la losa influyen en las deformaciones y desplazamientos en la losa.

2.5.4.6. Características de las resistencias para diferentes forma o geometría.

La forma o geometría de la losa influye en el comportamiento estructural expresado en su resistencia y deformación.



2.5.5. Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES
INDEPENDIENTE: X = El Método Algoritmo Matemático de Los Elementos Finitos.	X1 = algoritmo 1 X2 = algoritmo 2 X3= algoritmo 3 X4 = algoritmo 4 X5 = algoritmo 5 X6= algoritmo 6 X7 = algoritmo 7
DEPENDIENTE Y = Comportamiento de las Losas Estructurales sometidas a cargas.	Y1 = Tipo de material Y2 = Tipo de carga Y3 = Tipo de forma Y4= Tipo de borde

2.5.6. Indicadores

2.5.6.1. Indicadores de la hipótesis principal

- Datos requeridos: Materiales, cargas, pesos, consistencia y resistencia específica
- Características de: Material, Carga, forma y borde.

2.5.6.2. Indicadores de las hipótesis secundarias

- Tipos de construcciones
- Tipos de borde
- Tipos de material de construcción
- Resistencias de materiales utilizados
- Características de los materiales y modelo utilizado.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel

3.1.1. Tipo

- **La investigación será básica** de acuerdo a la orientación, puesto que está centrada en aportar datos y características para construir losas estructurales de comportamiento adecuado a las resistencias de diversas cargas a las que son sometidas o utilizadas; de este modo se buscó encontrar mecanismos que puedan ser de utilidad y dar solución a una problemática del sector de la construcción civil.
- **De acuerdo a la técnica de contrastación** la investigación es experimental, puesto que se trata de datos que se miden tal y como se presentan en la realidad observable, así mismo, se considera la intervención de la acción de resistencia a la carga sometida para conocer la respuesta de la otra variable (comportamiento de la losa expuesta).
- **La investigación será prospectiva de acuerdo a la direccionalidad**, considerando que la investigación estudia un fenómeno cuya causa es en el presente y el efecto será en el futuro, describiendo los eventos que ocurrirán.
- **De acuerdo con el tipo de fuente de recolección de datos**, la investigación es pro lectiva ya que la información se recogió con los criterios propios y para fines específicos.
- **La investigación es transversal** de acuerdo a la evolución del fenómeno estudiado, puesto que las variables se medirán en varios estadios y comportamientos al que serán expuestos.

- **De acuerdo a la comparación de las poblaciones**, la investigación es comparativa, ya que se busca comparar prevalencias de comportamientos de las losas a través de un análisis estático y pseudo estático (con la intervención de la resistencia a la son sometidas).

3.1.2. Nivel

La investigación es de nivel IV, de tipo predictivo II, tomando en cuenta los estudios matemáticos que se considera y que busca identificar un futuro probable que puede ser solo de comportamiento o cambio total, por medio del análisis de la hipótesis y basado en la estadística (Córdova & Monsalve, 2013).

3.1.3. Código y nomenclatura UNESCO

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO) considera campos de investigación, los cuales son apartados más generales y comprenden varias disciplinas de especialidades en ciencia y tecnología.

La investigación se enmarcará dentro de un código y nomenclatura como se detalla:

Tabla 2 Código y nomenclatura UNESCO

Campo	Disciplina	Subdisciplina	Código
Ciencias de la tierra y el espacio	Ciencias del suelo (edafología)	Ingeniería de suelos	251107

Fuente: Nomenclatura para los campos de las ciencias y las tecnologías-UNESCO

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de Investigación es Experimental³⁸, de tipo experimental básico ó puro; la naturaleza de la investigación predispone la utilización del diseño explicativo, pues no se manipula la información si no que esta se resuelve mediante la formulación algorítmica para lograr la eficiencia en el comportamiento de las losas, la formulación algorítmica por el método de los elementos finitos.

Algoritmo 1 INPUTJ

Invoca al algoritmo XYZ y reemplaza la matriz ID (de ceros y/o unos) por sus correspondientes grados de libertad.

El procedimiento empleado para formar la matriz ID es el siguiente: Si el GDL existe (clave de restricción 0), entonces se le asigna un número correlativo (NEQ) ha dicho GDL, reemplazando a la clave; si el GDL está restringido (clave de restricción 1), entonces el valor de la clave se reemplaza con un cero.

Algoritmo 2 XYZ

Este algoritmo es invocado por el algoritmo INPUTJ y sirve para leer los datos de los nudos, con lo cual se logran establecer los GDL de la estructura y formar la matriz ID.

Primeramente realiza la lectura de datos de los códigos (de ceros y/o unos) en forma secuencial y debe hacerse para cada nudo. Los datos necesarios son: Número de identificación (N), clave de restricción de los 6 GDL, nudo final (M), incremento (IN).

El número de identificación es un número entero entre 1 y el número total de nudos (NUMNP).

³⁸ Hernández Sampieri +R et al, 2010, Metodología de la Investigación, 5ta edición, Mc Graw Hill, México.

Luego hace la lectura de las coordenadas X-Y-Z de los nudos en forma secuencial. La generación de las coordenadas de nudo los almacena en los vectores $X(N)$, $Y(N)$, $Z(N)$ y que sirven posteriormente para hallar las longitudes de los elementos. Los datos necesarios son: Número de identificación (N) y coordenadas $X(N)$, $Y(N)$, $Z(N)$ del nudo inicial.

Algoritmo 3 FORMLD

ALGORITMO FORMLD

Sirve para leer los datos de las cargas, con lo cual se forman los vectores de carga. Para un caso de carga se da inicialmente el número de nudos cargados y un título identificatorio. A continuación, para cada nudo cargado se da el número del nudo y las cargas aplicadas (RR) que pueden ser 3 componentes de fuerzas y 3 de momentos, según los ejes X-Y-Z.

Con el número del nudo, a partir de la matriz ID, se obtienen sus GDL generados, con lo cual se ubican las cargas en la posición correspondiente el vector de cargas (Q1).

Algoritmo 4 VCARGA

Sirve para generar y transformar las cargas repartidas a cargas equivalentes concentradas en los nudos del elemento, con lo cual se forman los vectores de carga. Para un caso de carga se da inicialmente el número de nudos cargados y el título de identificación. A continuación, para cada nudo cargado se dan el número del nudo y las cargas aplicadas (RR) que pueden ser 3 componentes de fuerzas 3 de momentos, según los ejes X-Y-Z.

Con el número del nudo, a partir de la matriz ID, se obtienen sus GDL numerados, con lo cual se ubican las cargas en la posición correspondiente R el vector de cargas (QT).

Algoritmo 5 FORMA

Evalúa las funciones de forma o de interpolación, para la obtención de los coeficientes de rigidez, y las derivadas de los elementos rectangulares de 4, 8 y 9 nudos, esta evaluación se realiza en los puntos de Gauss; por ejemplo para elementos rectangulares de 4 nudos la función de forma en la programación se ha usado las variables tales como:

$$XP = XNODE(I,1) = \xi_i \text{ (son las coordenadas naturales del nudo } i \text{ en la dirección } \xi)$$

$$YP = XNODE(I,2) = \eta_i \text{ (son las coordenadas naturales del nudo } i \text{ en la dirección } \eta)$$

$$XI = GAUSS(NJ,NGP) = \xi \text{ (son los puntos de gauss en la dirección } \xi)$$

$$ETA = GAUSS(NJ,NGP) = \eta \text{ (son los puntos de gauss en la dirección } \eta)$$

La función de interpolación $[SF(I) = \Phi_i(i=1,2,3,4)]$ para un nudo i es

$$SF(I) = 0.25 * (1 + XP * XI) * (1 + YP * ETA),$$

Las derivadas de las funciones de forma en coordenadas naturales en las direcciones ξ, η , se expresa:

$$DSF(1,I) = (\partial \Phi_i / \partial \xi(\xi, \eta)) * 0.25 * (XP) * (1.0 + ETA * YP)$$

$$DSF(2,I) = (\partial \Phi_i / \partial \eta(\xi, \eta)) = 0.25 * (YP) * (1.0 + XI * XP)$$

Las derivadas de las coordenadas globales de los puntos interiores (x, y) del elemento en función de las coordenadas de nudo (x_i, y_i) , se relaciona en la rutina, como:

$$GJ(I,J) = \sum_{i=1}^n [(\partial \Phi_i / \partial \xi(\xi, \eta))] \quad Xi = GJ(IJ) + DSF(I,K) * ELXY(K,J)$$

la determinante del jacobiano, se expresa:

$$DET = \partial X / \partial \xi \quad \partial Y / \partial \eta + \partial X / \partial \eta \quad \partial Y / \partial \xi = GJ(1,1) * GJ(2,2) - GJ(1,2) * GJ(2,1)$$

La inversa del jacobiano, esta expresado como:

$$GJINV(1,1) = J11^* = GJ(2,2)/DET$$

$$GJINV(2,2) = J22^* = GJ(1,1)/DET$$

$$GJINV(1,2) = J12^* = -GJ(1,2)/DET$$

$$GJINV(2,1) = J21^* = -GJ(2,1)/DET$$

La derivada de las funciones de interpolación con respecto a las coordenadas globales (x,y), por ejemplo para la dirección x es:

$$GDSF(1,1) = J11^* (\partial\Phi_i)/\partial\xi + J12^* (\partial\Phi_i)/\partial\eta$$
$$GDSF(1,1) + GJINV(1,2) * DSF(2,1)$$

Algoritmo 6 LOSAS

Los coeficientes de la matriz de rigidez de un elemento típico, están expresados por el producto de las funciones de interpolación y sus derivadas en función de las coordenadas globales. Estos coeficientes de rigidez están expresadas en forma de integrales para resolver de manera muy aproximada, son evaluadas numéricamente, en los puntos de la cuadratura de Gauss y sumados (en cada dirección de coordenada) sobre el número de puntos de integración (NGP).

Algoritmo 7 STRESS

El algoritmo de funciones de forma es invocada para hallar los desplazamientos locales y luego calcula los esfuerzos normales σ_{ij} y los esfuerzos normales τ_{ij} .

3.3. Técnicas de la investigación

3.3.1. Instrumentos de Recolección de Datos

Los instrumentos utilizados serán de carácter experimental y análisis de laboratorio, con levantamiento de datos para el análisis respectivo. El método desarrollado con los Modelos matemáticos de elementos finitos, conllevará a recopilación datos en formatos específicos para análisis y determinación de características y usos de tipos de materiales que se deberán considerar en los ensayos.

3.3.2. Procesamiento y Análisis de Datos

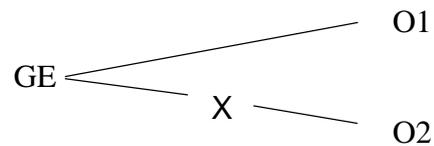
El procesamiento de datos se realizará mediante la utilización del software Statistical Package For The Social Sciences (SPSS) Versión 23 y la interpretación de los mismos se realizará mediante el Criterio del Valor p.

En síntesis, podemos decir que la metodología de desarrollo de la investigación se tomará en cuenta lo siguiente:

1. Evaluación de la resultados obtenidos en las pruebas de laboratorios.
2. Análisis de los reportes presentados en los ensayos experimentales.
3. Aplicación de la Metodología en el uso del modelo algorítmico matemático.
4. Elaboración de los instrumentos para medir la funcionalidad del modelo.
5. Elaboración de los instrumentos para medir la usabilidad del modelo.
6. Elaboración de los instrumentos para medir la precisión de los resultados y estandarizar las características.
7. Elaboración de los instrumentos para medir los datos de información obtenida en los ensayos.
8. Aplicación de los instrumentos en mención.
9. Tabulación y elaboración de los resultados.
10. Contrastación de la hipótesis.

La investigación se centrara en un diseño experimental puro, tomando en cuenta que cumplirá con los tres criterios: homogeneidad, aleatoriedad o representatividad; por ser una intervención deliberada con objetos y no con sujetos o personas y de este modo poder analizar los cambios ya descritos.

Esquema de diseño



Donde:

GE : Grupo experimental (losas).

O1 : Factor de resistencia sin considerar la acción expuesta.

X : sometimiento a la carga.

O2 : Factor de resistencia considerando la acción expuesta.

3.3.3. Estrategia de prueba de hipótesis

Con los valores del factor de resistencia con la presencia de cargas sometidas sobre las losas, en un estado estático, se compararan dichos valores en un estado pseudo estático.

3.3.3.1. Hipótesis Principal nula

Mediante la aplicación del Método de algorítmico matemático de Elementos Finitos NO se resolvería la necesidad de datos y características para la construcción de losas de estructurales diversas sometidas a cargas específicas.

3.3.3.2. Hipótesis secundarias nulas(H_0) :

- Con un Método algorítmico matemático de Elementos Finitos que consideraría datos y características para construir losas estructurales NO se resolvería el comportamiento de las mismas frente al sometimiento de cargas.
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos No mejoraría la determinación de las características de las resistencias para las diferentes condiciones de borde de las losas estructurales sometidas a cargas?
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos que incluya diferentes datos de diversos materiales No mejoraría la construcción de losas estructurales sometidas a cargas?
- Con el uso de un Método algorítmico matemático de elementos finitos que considere datos de diferentes tipologías geométricas No mejoraría las características de construcción de losas estructurales sometidas a cargas.

3.3.4. Población y muestra

Del total de comportamientos a evaluarse se presentaran cuatro tipos de losas para cada situación que se va a estudiar, considerándose que la inversión para la investigación es subvencionada por el mismo investigador; por lo que se escogerá prototipos diversos en grupos de cuatro para llevar a cabo el estudio. Determinándose el tamaño de muestra de la siguiente manera:

$$n = \frac{z^2 pqN}{(N - 1)e^2 + pqz^2}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.10 * 0.90 * 4}{(4 - 1)0.05^2 + 0.20 * 0.80 * 1.96^2}$$

$$n = 4$$

Dónde:

- n: Tamaño de la muestra (perfiles de losas en estudio).
- p: Porcentaje de población (tipos de losas) estables.
- q: Porcentaje de población (tipos de losas) deterioradas.
- N: Tamaño conocido de la población.
- z: Nivel de confianza (valor tabular asumiendo que la distribución de los datos tienen una distribución normal).
- e: Error muestral permitido en el estudio planteado (5%).

3.3.5. Validación de los instrumentos

La validez del instrumento de recolección de datos para el estudio se basara en la metodología del juicio de expertos, donde se tomara en cuenta:

- Validez de contenido

Referido al grado en que el instrumento refleja el dominio específico de la variable a medir, para el estudio se considera: los indicadores relacionados a la construcción de losas diversas sometidas a resistencias específicas.

- Validez de criterio

Establece el valor del instrumento de medición en base a un patrón establecido, en este caso las dimensiones a considerar serán de acuerdo con NTP E 050 (suelos y cimentaciones).

– Evidencia relacionada con el constructo

Grado en que una medición se relaciona consistentemente con otras mediciones de acuerdo con hipótesis derivadas teóricamente y que conciernen a los conceptos (constructos) que se medirán. Un constructo es una variable medida y que tiene lugar dentro de una teoría o esquema teórico. En el trabajo de investigación las variables serán: la construcción de las losas de diversas estructuras sometidas a resistencias específicas de carga.

Para evaluar la confiabilidad del instrumento o la homogeneidad de los ítems se empleara un análisis estadístico a través del coeficiente alfa de Cronbach, lo que determinara la estabilidad y consistencia interna del instrumento.

De este modo el instrumento aplicado bajo las mismas condiciones arrojará resultados congruentes, dando fiabilidad a la investigación.

3.3.6. Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para realizar el procesamiento y análisis de los datos, se utilizara el programa SPSS para el análisis de la información, en especial se utilizara el estadístico “Chi cuadrado” para demostrar la relación entre las variables de estudio.

3.3.7. Diseño estadístico

El estadístico de prueba a utilizar es el “Chi cuadrado”:

$$X^2_{calc} = \sum \frac{(fo - fe)^2}{fe}$$

- fo: Frecuencia del valor observado
- fe: Frecuencia del valor esperado

Se usa el diseño de la estadística descriptiva, a través de sumatoria de frecuencias, cálculo de frecuencias relativas (%) y gráficas; con el fin de representar objetivamente la realidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1. Resultados y Análisis Comparativos

- Inicialmente se presentan las formas de losas cuadradas subdivididas con diferentes números de elementos o mallas, condiciones de borde y carga. Posteriormente se presentan las losas circulares con diferentes bordes y elementos isoperimétricos rectangulares de nueve nudos. Cabe mencionar que se han usado dichas mallas para el análisis de losas por el método de los elementos finitos con cargas concentradas y repartidas, respectivamente.
- En la Fig. 36 se muestra la discretización de las losas cuadradas simplemente apoyadas en elementos de malla 2×2 (elementos lineales de cuatro nudos), malla 4×4 (elementos lineales de cuatro nudos), malla $1Q9$ (elemento cuadrático de nueve nudos) y malla $2 \times 2-2 (Q9)$ (elementos cuadráticos de nueve nudos), con la discretización de las losas cuadradas con condiciones de borde simplemente apoyadas en todos sus bordes aplicando cargas uniformemente distribuidas y cargas concentradas con propiedades de los materiales como son el módulo de elasticidad, el módulo de cambio volumétrico del material, el espesor y la resistencia específica tomado como valores unitarios, se ha procedido a analizar mediante el método algorítmico matemático de los elementos finitos, obteniéndose los desplazamientos máximos en los centros de las losas y se ha comparado los resultados con los valores de desplazamiento obtenidos por la teoría clásica exacta (Timoshenko y Woinoski-Krieger (1959)), tal como se muestra los resultados en la Tabla 5, Tabla 6, figura 39 y figura 40, se puede evaluar que los resultados de la discretización de elementos lineales y cuadráticos para cargas uniformemente distribuidas con menor número

de subdivisiones de elementos convergen los desplazamientos maximos a la solucion exacta de la teoria clasica sin embargo para el caso de cargas concentradas los elementos cuadraticos de menor numero de elementos tiene una convergencia a lenta de los desplazamientos maximos a la solucion exacta.

- En la Fig. 37 se muestra la discretizacion de las losas cuadradas con subdivisiones de elementos de malla 2×2 (elementos lineales de cuatro nudos), malla 4×4 (elementos lineales de cuatro nudos), malla 1Q9 (elemento cuadratico de nueve nudos) y malla $2 \times 2-2$ (Q9) (elementos cuadraticos de nueve nudos), las losas cuadradas con condiciones de borde empotradas en todos sus bordes, al aplicar cargas uniformemente distribuidas y cargas concentradas con propiedades de los materiales como son el modulo de elasticidad, el modulo de cambio volumetrico del material, el espesor y la resistencia especifica como valores unitarios, se ha procedido a analizar mediante el metodo algoritmico matematico de los elementos finitos, obteniendose los desplazamientos maximos en los centros de las losas y se ha comparado los resultados con los valores de desplazamiento obtenidos por la teoria clasica exacta (Timoshenko y Woinoski-Krieger (1958)), tal como se muestra los resultados en la Tabla 7, Tabla 8, figura 41 y figura 42, se puede evaluar que los resultados de la discretizacion de elementos lineales y cuadraticos para cargas uniformemente distribuidas y cargas concentradas con menor numero de subdivisiones de elementos convergen los desplazamientos maximos a la solucion exacta de la teoria clasica.
- En la Fig. 38 se muestra la discretizacion de las losas circulares con subdivisiones de elementos malla 5Q9 (elementos isoparametricos de nueve nudos), las losas con condiciones de borde empotradas y simplemente apoyadas en todos sus bordes, al aplicar cargas uniformemente distribuidas y cargas concentradas con propiedades

de los materiales como son el modulo de elasticidad, el modulo de cambio volumetrico del material, el espesor y la resistencia especifica como valores unitarios, se ha procedido a analizar mediante el metodo algoritmico matematico de los elementos finitos, obteniendose los desplazamientos maximos en los centros de las losas y se ha comparado los resultados con los valores de desplazamiento obtenidos por la teoria clasica exacta (Timoshenko y Woinoski-Krieger (1959)), tal como se muestra los resultados en la Tabla 9 , Tabla 10 , figura 43, figura 44, figura 45 y figura 46, se puede evaluar que los resultados de la discretizacion de elementos tipo 5Q9 para cargas uniformemente distribuidas y cargas concentradas con menor numero de subdivisiones de elementos convergen los desplazamientos maximos a la solucion exacta de la teoria clasica.

- En la Tabla 11 se muestra los resultados de desplazamientos maximos y esfuerzos maximos en el centro de una losa cuadrada simplemente apoyadas en elementos de malla 2x2 (elementos lineales de cuatro nudos), malla 4x4 (elementos lineales) y malla 2x2 (elementos cuadraticos) y relaciones de lado (a) y espesor (h) de la losa, aplicando cargas uniformemente distribuidas con propiedades de los materiales como son el modulo de elasticidad y la resistencia especifica tomado como valores unitarios , se ha procedido a analizar mediante el metodo algoritmico matematico de los elementos finitos, obteniendose los desplazamientos maximos y esfuerzos en los centros de las losas y se ha comparado los resultados con los valores obtenidos por la teoria clasica exacta (Timoshenko y Woinoski-Krieger (1959)), tal como se muestra los resultados en la Tabla 115 , figura 47 y figura 48, se puede evaluar que los resultados de la discretizacion de elementos lineales y cuadraticos para cargas uniformemente distribuidas con menor numero de subdivisiones de elementos

convergen los desplazamientos y esfuerzos máximos a la solución exacta de la teoría.

- En las figuras del 49 al 51 se muestra una comparación de deflexiones de losas cuadradas simplemente apoyadas y empotradas con diversas discretizaciones de elementos de carga concentrada y carga uniformemente distribuida, con características realizadas por diversos autores, teoría exacta y comparadas con los obtenidos en el presente trabajo hay una buena convergencia a la solución exacta. Lo que conlleva a tener precisiones en los resultados para ser considerados con seguridad en las actividades en que son utilizadas dichas losas.
- A continuación se presentan graficadas en detalle las losas consideradas en el estudio:

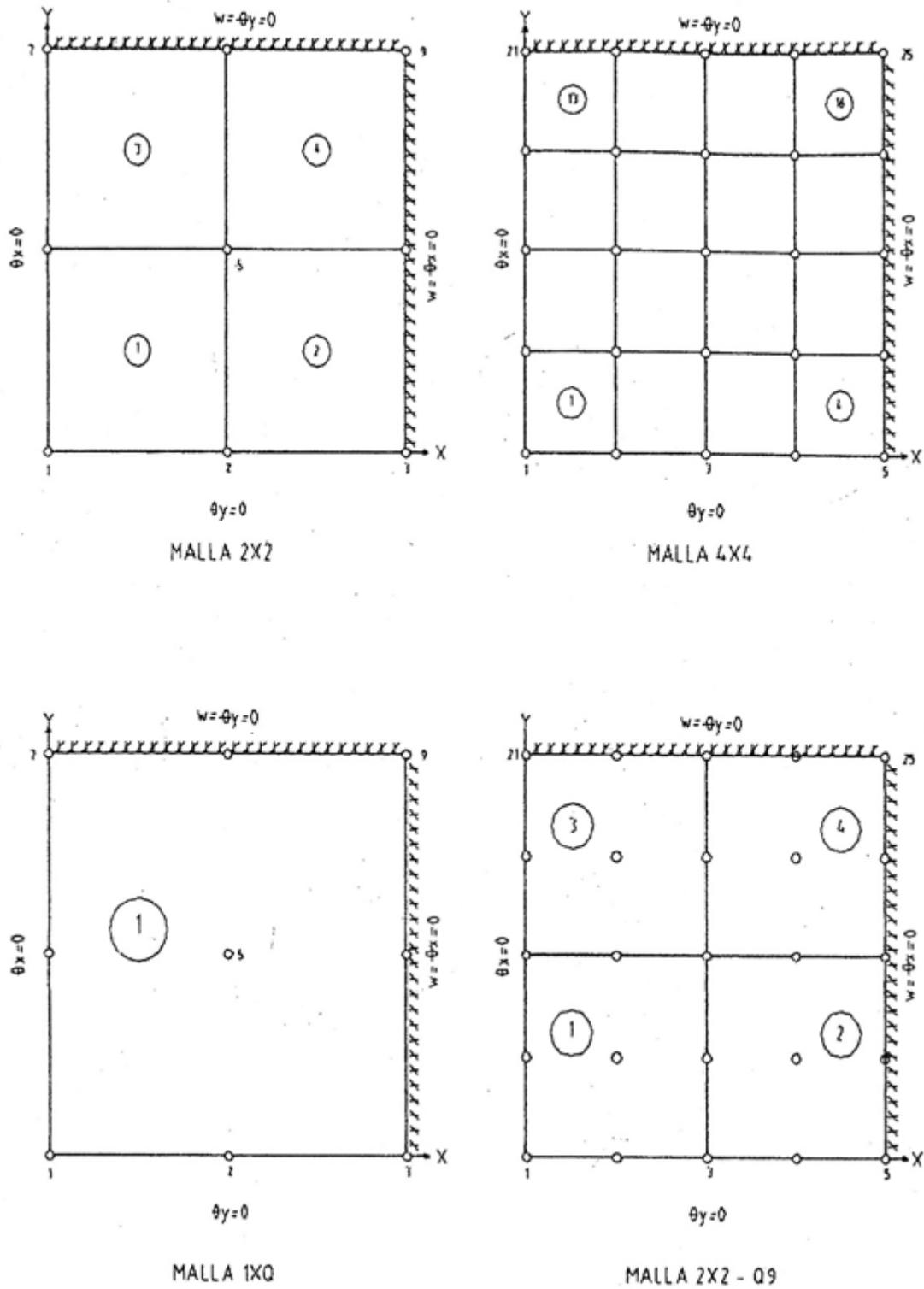


Figura 33 Discretización de la losa simplemente apoyada, por simetría es analizada la cuarta parte y es utilizado para obtener los resultados que se muestran en las Tablas 6. y 7

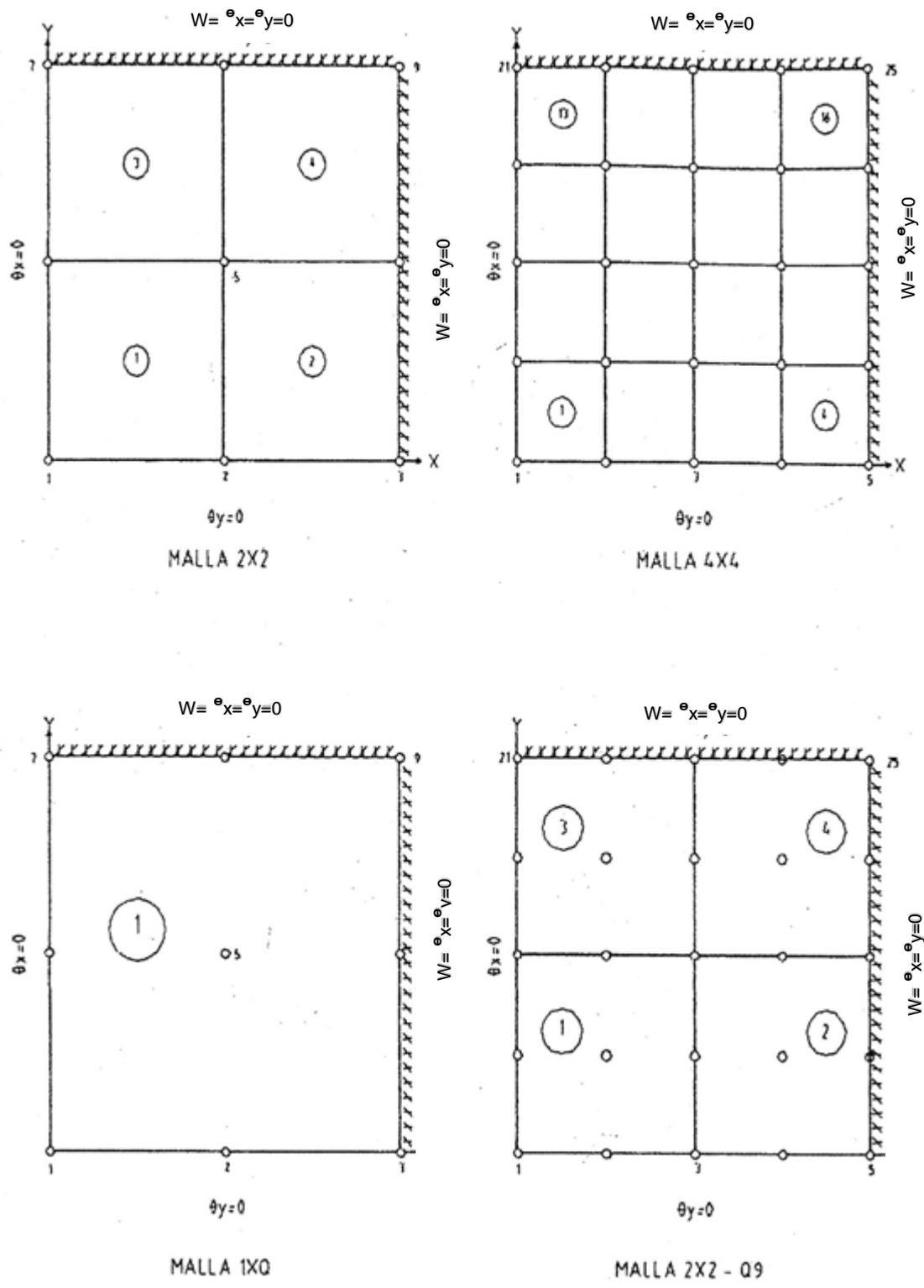


Figura 34 Discretización de losas empotradas (por simetría solo la cuarta parte)

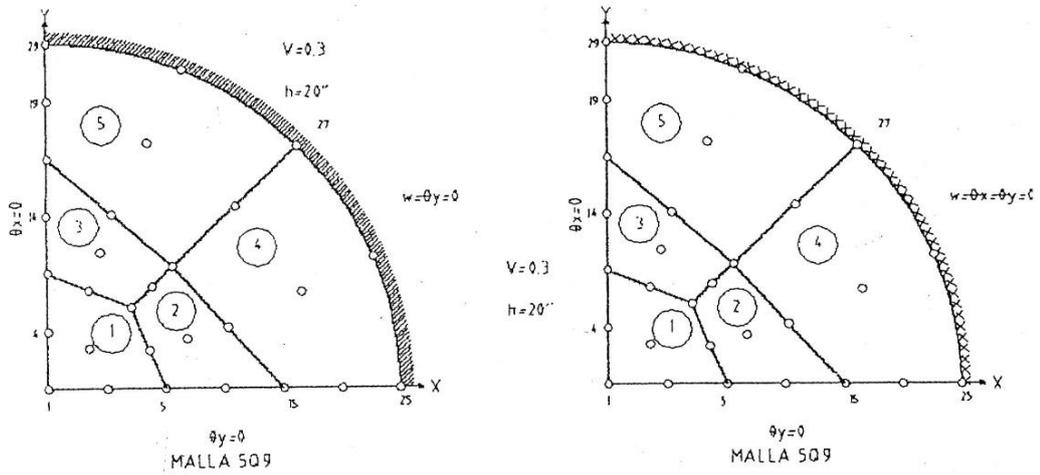


Figura 35 Discretización de la losa circular simplemente apoyada y losa empotrada (por simetría solo la cuarta parte)

- En las tablas 4 y 10 se muestran los resultados de análisis de losas cuadradas con diferentes números de elementos y se compara con la teoría de clásica de losas (Timoshenko y Woinoski-Krieger(1959))

TABLA N° 5

DEFLEXIONES EN EL CENTRO DE UNA LOSA CUADRADA SIMPLEMENTE APOYADA CON CARGA UNIFORME					
ELEMENTOS LINEALES		ELEMENTOS CUADRATICOS		TEORIA CLASICA	
2x2	4x4	1Q9	2x2(Q9)	TC	
0.047317	0.04416	0.04582	0.04446	0.04434	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 6

DESPLAZAMIENTO MAXIMO PARA UNA LOSA CUADRADA S.A. CON CARGA CONCENTRADA (V= 0.25, h=0.1)					
ELEMENTOS LINEALES		ELEMENTOS CUADRATICOS		TEORIA CLASICA	
2x2	4x4	1Q9	2x2(Q9)	TC	
0.0131	0.0131	0.0133	0.0132	0.01305	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 7

DESPLAZAMIENTO MAXIMO PARA UNA LOSA EMPOTRADA CON CARGA UNIFORME (V= 0.25, h=0.1)					
ELEMENTOS LINEALES		ELEMENTOS CUADRATICOS		TEORIA CLASICA	
2x2	4x4	1Q9	2x2(Q9)	T.C.	
14.095	14.187	17.45	14.481	14.22	

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 8

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO PARA UNA LOSA CUADRADA EMPOTRADA CON CARGA CONCENTRADA (V= 0.25, h=0.1)				
ELEMENTOS LINEALES		ELEMENTOS CUADRATICOS		TEORIA CLASICA
2X2	4X4	1Q9	2X2 (Q9)	T.C.
$6,083 \times 10^{-3}$	$6,147 \times 10^{-3}$	$6,98 \times 10^{-3}$	$6,384 \times 10^{-3}$	$6,38 \times 10^{-3}$

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 9

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DE UNA LOSA CIRCULAR S.A. con material isotrópico			
CARGA UNIFORME		CARGA CONCENTRADA	
5Q9	T.C.	5Q9	T.C.
0,7012	0,695	0,572	0,551

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 10

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DE UNA LOSA CIRCULAR EMPOTRADA con material isotrópico			
CARGA UNIFORME		CARGA CONCENTRADA	
5Q9	T.C.	5Q9	T.C.
0,2056	0,1706	0,227	0,217

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. LOSA CUADRADA SIMPLEMENTE APOYADA CON CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA CON VARIACION LADO Y ESPESOR,

Material isotrópico ($\nu=0.25$, de lado $a=10$)

a/h	1x1 lineal		2x2 lineal		4x4 lineal		2x2 cuadrático		Teoría Exacta	
	W	σ	W	σ	W	σ	W	σ	W	σ
10	3,950	0,0953	4,712	0,2350	4,773	0,2661	4,799	0,2715	4,580	0,270
20	3,669	0,0954	4,524	0,2350	4,603	0,2660	4,633	0,2715		
40	3,599	0,0953	4,375	0,2349	4,563	0,2661	4,592	0,2714		
50	3,590	0,0953	4,472	0,2350	4,555	0,2660	4,587	0,2714		
100	3,579	0,0953	4,465	0,2350	4,548	0,2661	4,580	0,2715		

Fuente: Elaboración propia

Normalización de resultados: desplazamientos $W = \frac{wEh^3x10^2}{q_0a^4}$ y

$$\text{Esfuerzos } \sigma_x = \sigma_x \frac{(A,A,\pm h/2)h^2}{q_0a^2}$$

$$A = \frac{a}{4} (1x1 \text{ lineal}), \quad \frac{a}{8} (2x2 \text{ lineal}),$$

$$\frac{a}{16} (4x4 \text{ lineal}), 0.05283 a (2x2 \text{ cuadrático})$$

4.2 Graficas resultantes de la Operacionalizacion de variables:

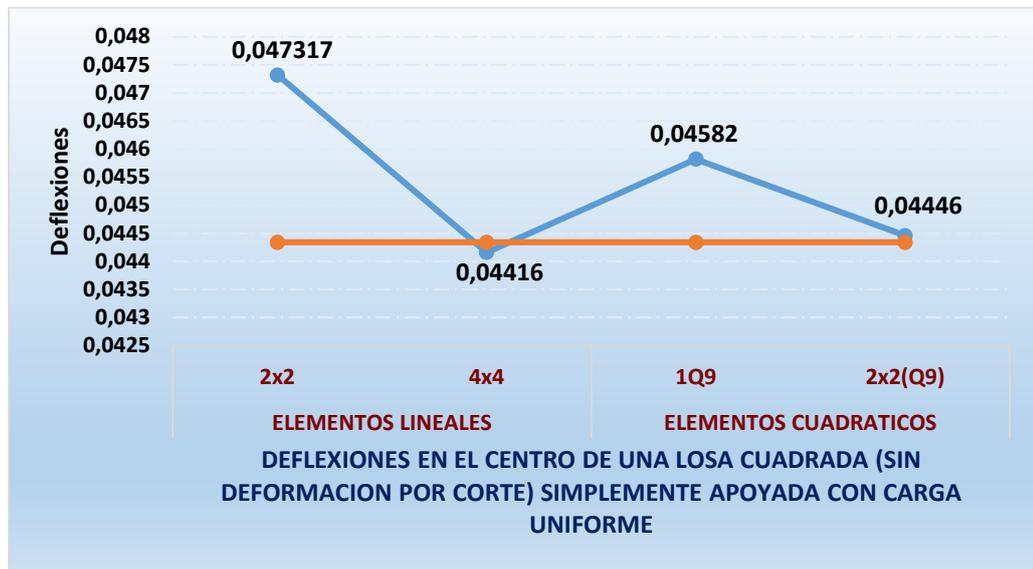


Figura 36 Deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica.

Fuente: elaboración propia

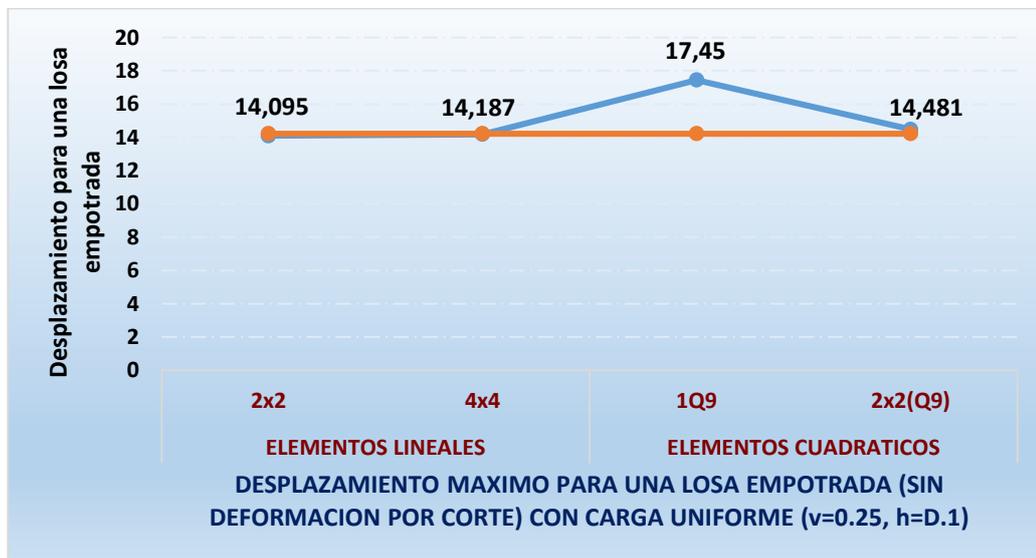


Figura 37 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada y con carga uniforme por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

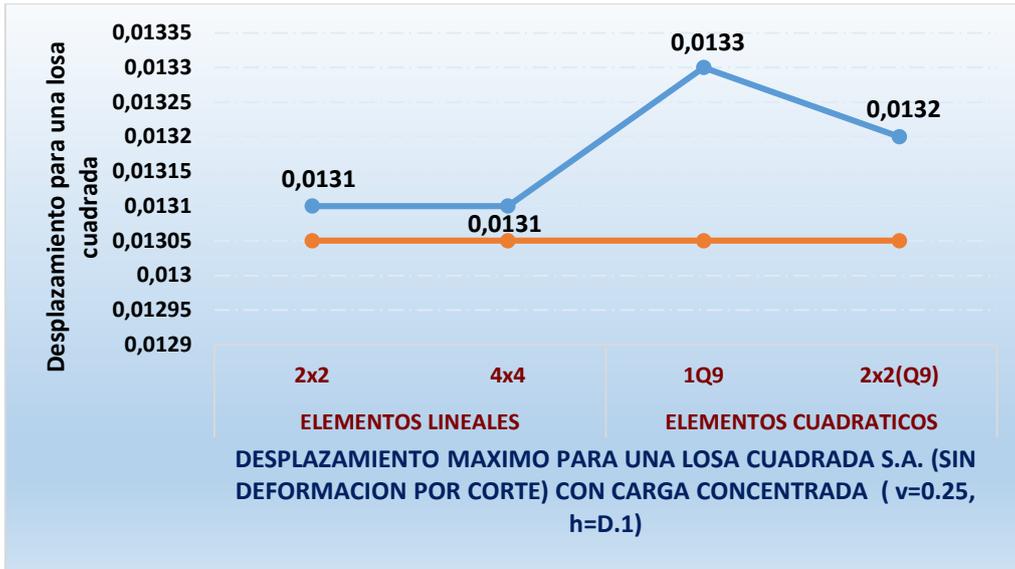


Figura 38 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada con carga concentrada por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

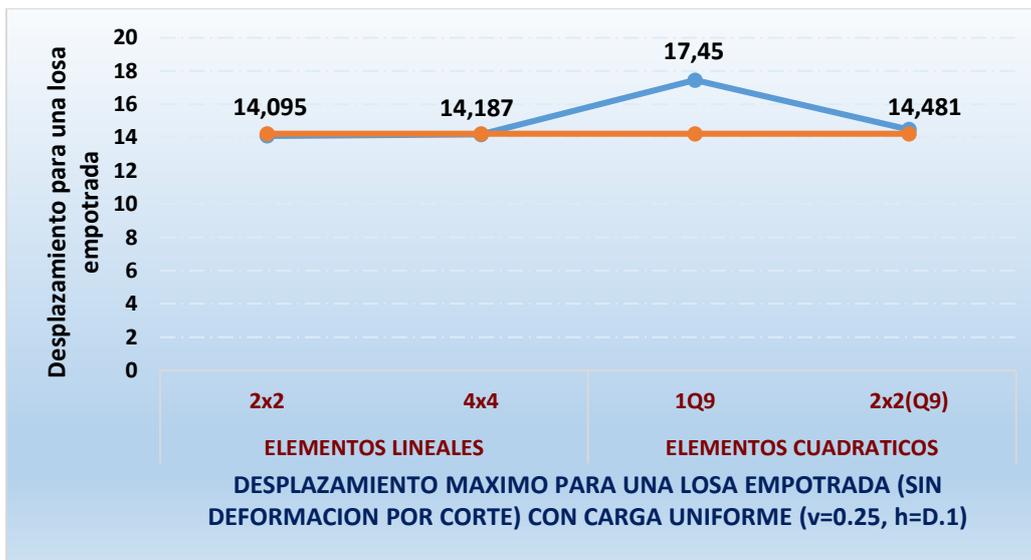


Figura 39 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga uniformemente distribuida por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

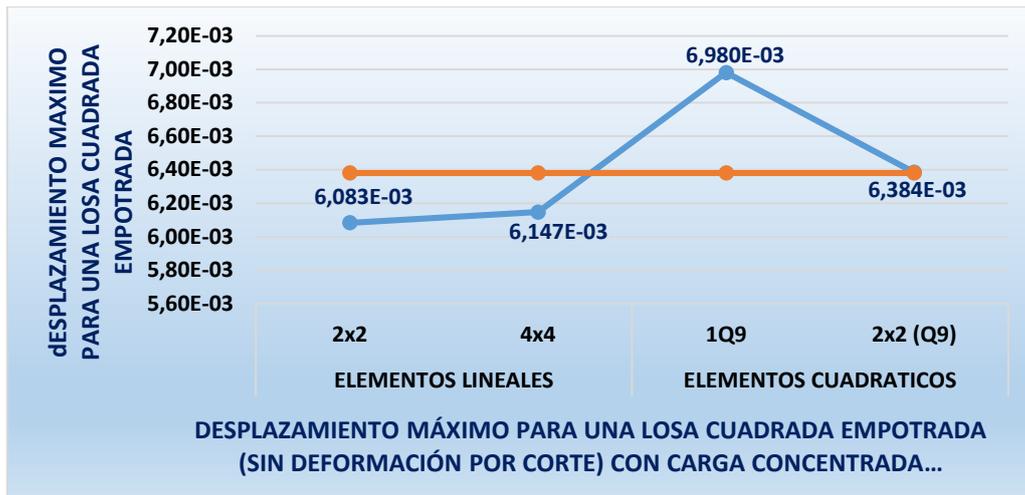


Figura 40 Desplazamiento máximo en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga concentrada por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

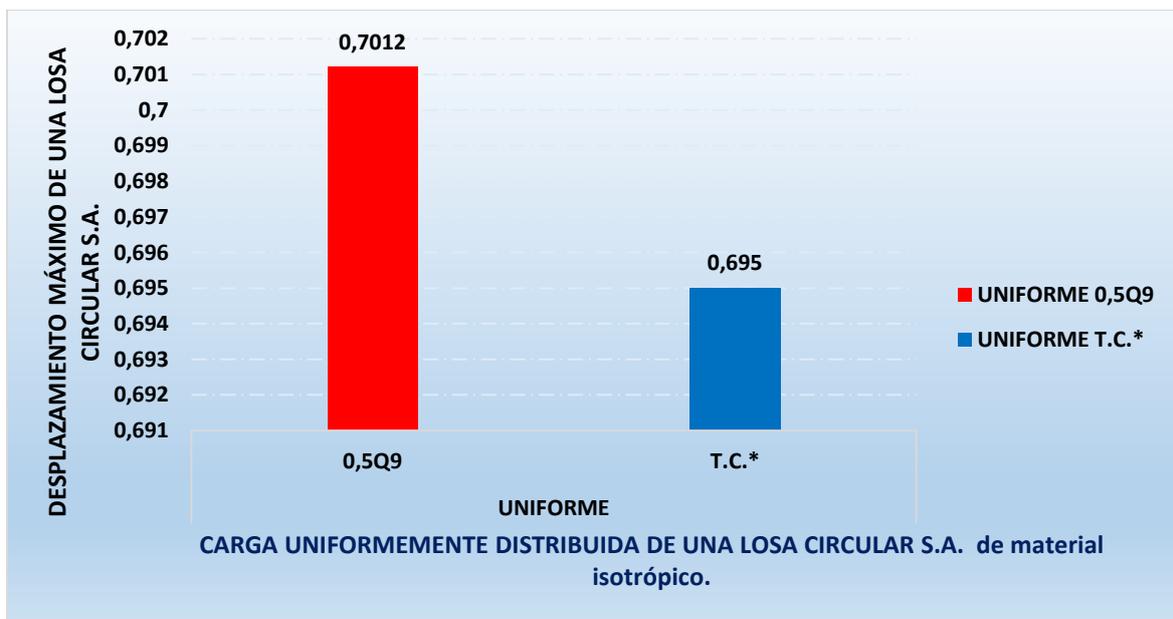


Figura 41 Desplazamiento máximo de la losa circular simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida con elementos 5Q9 por el Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

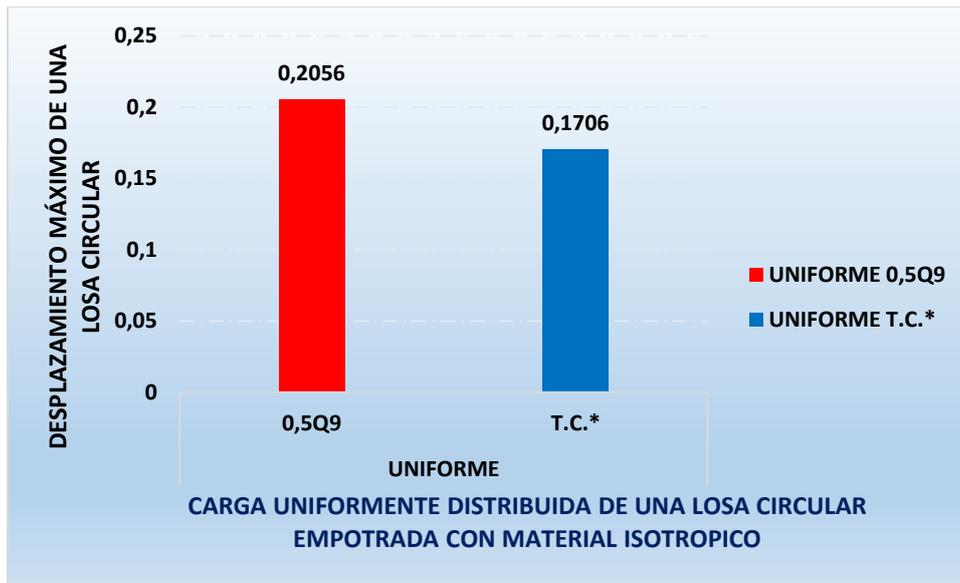


Figura 42 Desplazamiento máximo en el centro de la losa circular empotrada con carga uniformemente distribuida con tipos de elementos 5Q9 por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

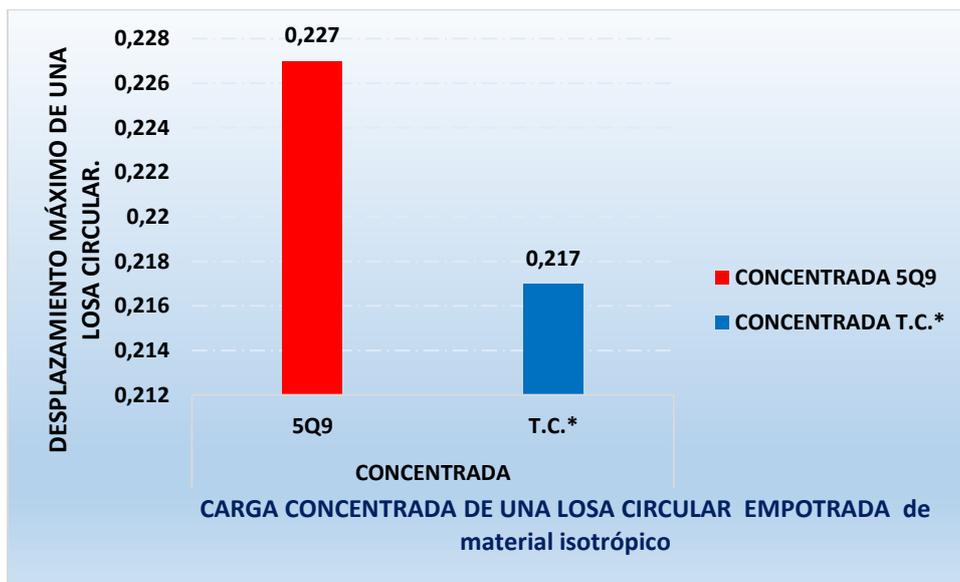


Figura 43 Desplazamiento máximo en el centro de la losa circular empotrada con carga concentrada con elementos 5Q9 por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

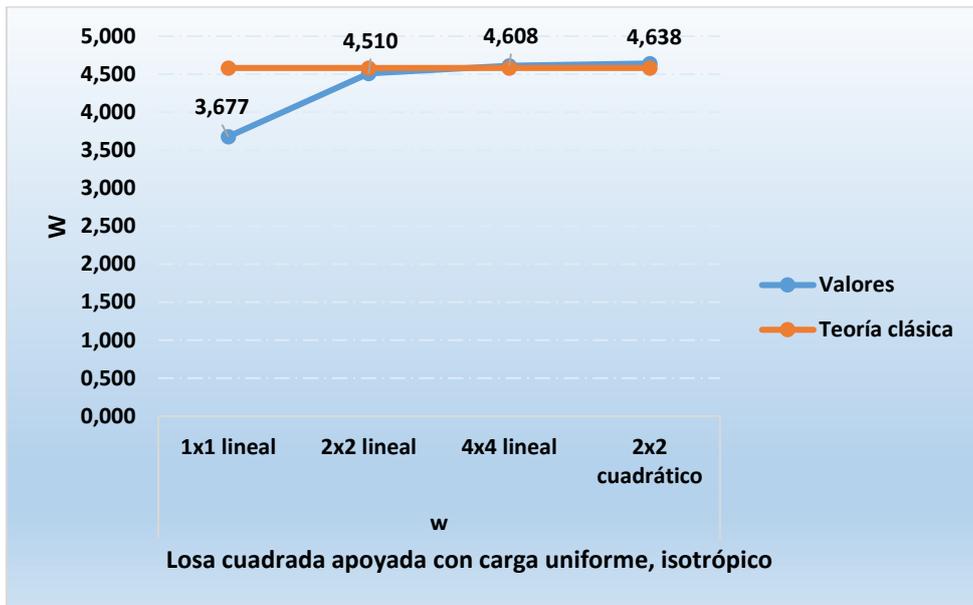


Figura 44 Deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4 lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

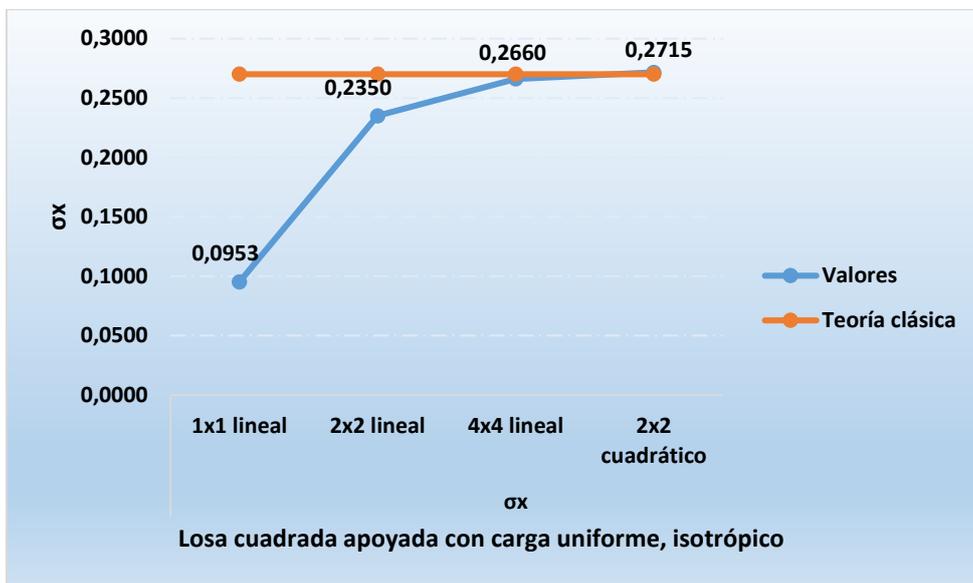


Figura 45 Esfuerzos en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4 lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

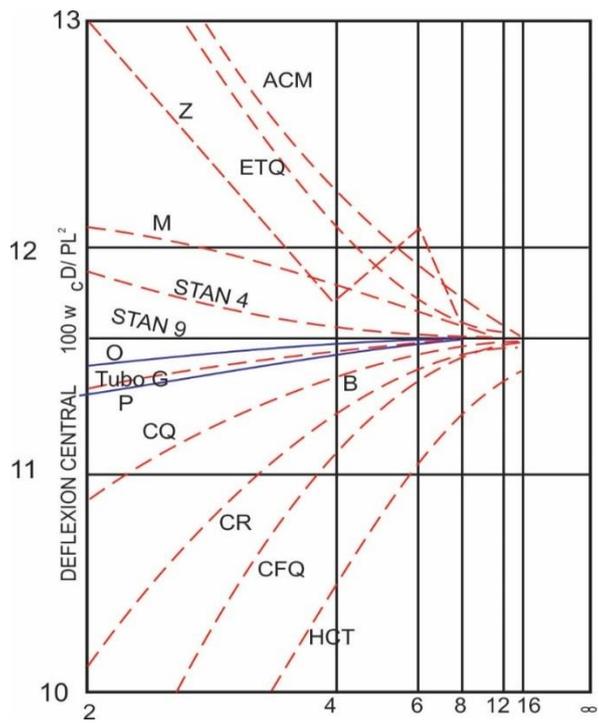


Figura 46 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida con elementos: 1x1 lineal, 2x2 lineal, 4x4 lineal y 2x2 cuadrático por Método Algorítmico de Elementos Finitos y Teoría Clásica

Fuente: Elaboración propia

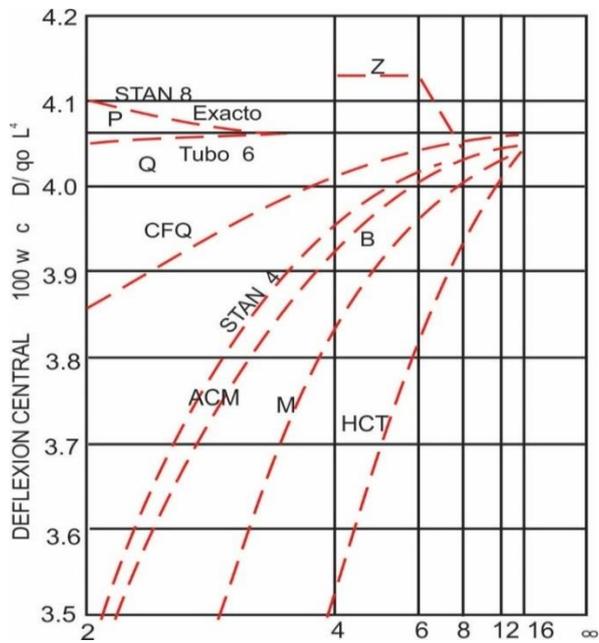


Figura 47 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada con carga puntual realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 9 (Tesis).

Fuente: Elaboración propia

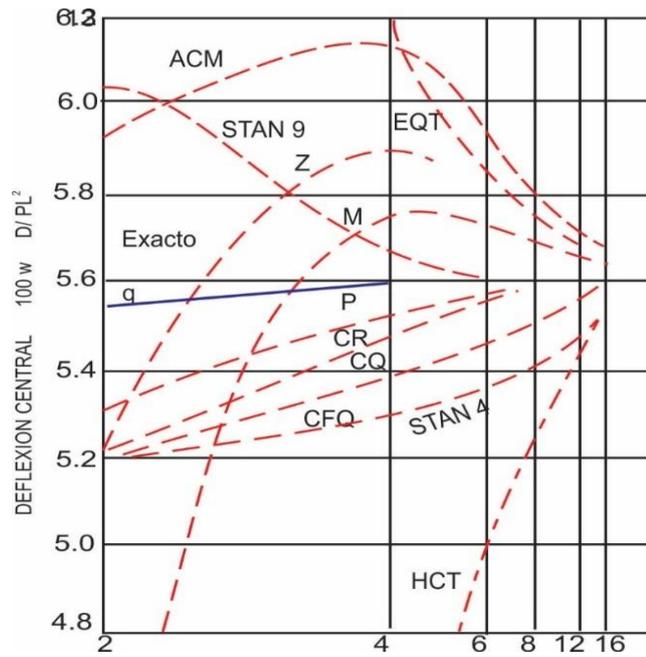


Figura 48 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 8 (Tesis).

Fuente: Elaboración propia

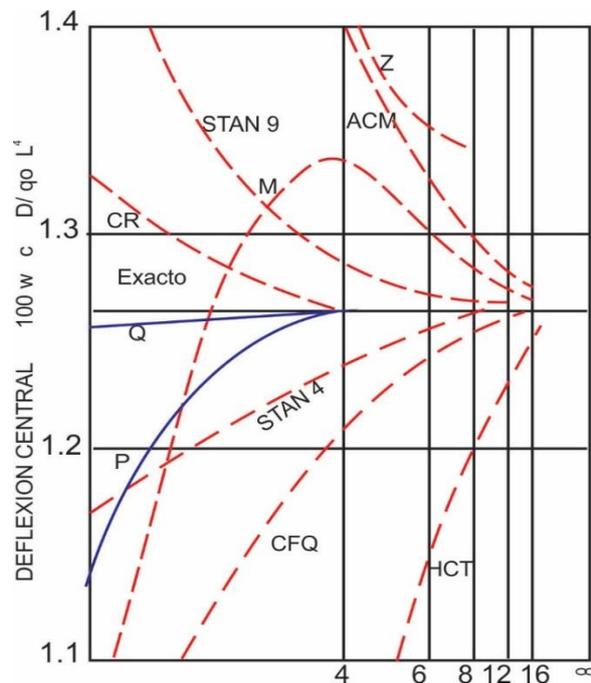


Figura 49 Comparación de deflexiones en el centro de la losa cuadrada empotrada con carga concentrada realizada por varios autores, Teoría Clásica, elementos rectangulares lineales STAN 4 (Tesis) y elementos STAN 9 (Tesis).

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El procedimiento para obtener respuestas de desplazamientos y esfuerzos de losas rectangulares y circulares, utilizando la metodología clásica (solución mediante series) es tedioso y requiere demasiadas actividades, y tiempos.
- Utilizando el método de los elementos finitos para losas, se ha arribado a las siguientes conclusiones:
 - En los resultados de los ejemplos expuestos se muestra claramente la rapidez de la convergencia, siendo necesario discretizar la losa en pocos elementos para obtener resultados suficientemente aceptables para fines prácticos. Este factor es muy importante ya que el aumento de elementos significa mayor capacidad de memoria y mayor tiempo de compilación computacional.
 - Con el uso de elementos isoparamétricos rectangulares de: 4, 8 y 9 nudos, se ha comprobado que son elementos conformes; por lo que es posible garantizar que la convergencia para la solución exacta en términos de desplazamientos se da por valores cercanos.
 - Para formular la matriz de rigidez de elemento, se emplea el cálculo de variaciones de una manera eficaz y rápida, por la forma en que se ha planteado las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de las losas.
 - Se facilita el análisis de losas de bordes curvos y de geometría irregular, ya que la formulación utilizada permite considerar transformación isoparamétrica.
 - Con la formulación para la matriz de rigidez de elementos tipo losa, no solo se consideran las deformaciones por flexión, sino además las deformaciones por

corte. Así, el elemento propuesto se puede emplear tanto para analizar losas gruesas como aquellas delgadas de espesor muy pequeño.

- Comparando los resultados obtenidos: se observa que el elemento típico rectangular propuesto con la técnica clásica, converge a la solución exacta con un número menor de elementos cuadriláteros de 9 nudos.
- En relación al programa computacional cabe resaltar los siguientes aspectos:
 - Generación automática de la numeración de nudos, elementos, coordenadas y propiedades materiales de los elementos.
 - Resolución del sistema de ecuación en banda.
 - Almacenamiento de información en archivos externos y que se puede utilizar de manera interactiva.
- Los algoritmos de losas se han desarrollado de tal forma que permiten con pequeñas modificaciones, el empleo de otros tipos de elementos. Por ejemplo elementos triangulares isoparamétricos.
- El programa puede ser utilizado para solución de losas de cimentación con ligeras modificaciones.

5.2 Recomendaciones

- Para el uso del algoritmo se debe capacitar al usuario, a fin de que pueda afinar los datos para el uso de las variables.
- Se debe revisar las características de los materiales a utilizar, y precisar datos a fin de tener mayor aceptación en los factores de resistencia a considerarse en la construcción de la losas.
- Se debe tener en cuenta la tipología, y recursos a utilizar para aplicar el método y hacer ensayos hasta estandarizar resultados apropiados a fin de no tener errores en la ejecución de los productos a obtenerse.
- Disponer de estadísticas de materiales que se utilizan: tiempos, tipologías y resistencias; así como las características de diseño y estructura a fabricarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alanoca, A.(1986). El Método del Elemento Finito en la Ingeniería Estructural. Tesis de Grado de Bachiller en Ingeniería Civil.

American Concrete Institute(1989). Building Code Requirements for Reinforced Concrete. ACI-318, Detroit.

Andreu, R. y Sieber, S. (1999). La Gestión Integral del Conocimiento y del Aprendizaje. Economía Industrial.

Bariola,J.(1987); Apuntes sobre Losas. Escuela de Graduados, Maestría en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Bathe, K. and Wilson E.(1975) Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, New Jersey.

Belliger,G., Castro, D. y Mills, A. (1997). Data information, Knowledge and Wisdom. Recuperate de <http://www.outsights.com/systems/dikw/dikw.htm>

Boisot, M. (1999). Creación y distribución del conocimiento, La Gestión del Capital Intelectual. Ediciones Bronce.

Brown, J. y Duguid, P. (1998). Organizing Knowledge. California Management Review n° 40.

Cohen, W. y Levinthal, D.(1990). Absorptive Capacity: A new Perspective on learning and innovation. Administrative Science Quartely.

Cole, R. (1998). Introduction. California Management Review nº 40

Cook, R. (1981). Concepts and Aplications of Finite Element Analysis. John Willey, N.

Chávez J. (2011), tesis “Análisis comparativo de sistemas y tecnologías aplicadas a la construcción de losas de estacionamiento”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Davenport, T. y Prusak, L. (2001). Conocimiento en acción. Prentice Hall.

Davenport, T. y Prusak, L. (1998). Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. Harvard Business School Press.

Drucker, P. (2005). La productividad del trabajador del conocimiento: máximo desafío: Gestión del capital humano. Harvard Deusto

Fahey, L. y Prusak, L. (1998). The eleven deadliest sins of Knowledge management. California Management Review nº 40

Filonenko-Borodich, M. (1959), Teoría de la Elasticidad. Editorial Cartago, 2nd ed., Traducido de la 4ta. Edición rusa.

Fornós, J.(1983). El Método de los Elementos Finitos en la Ingeniería de Estructuras.

Marcombo-Boixareu Ed., E.T.S.I.I.B., universidad Politécnica de Barcelona.

Fornay, M.(1968), Variational calculus in Science and engineering. McGraw-Hill,
New York.

Fung, Y.(1965), Foundations of Solid Mechanics. Prentice-Hall, Englewood Cliffs,
New Jersey.

Gallagher, R.(1975). Finite Element Analysis Fundamentals. Prentice Hall,
Englewood Cliffs, N.Y.

Grant, R. (1996). Dirección Estratégica. Conceptos, Técnicas y Aplicaciones.
Civitas, Madrid.

Hayek F. (1948). The Use of Knowledge in Society. Individualism and Economic
Order, Chicago.

James, M., Smith, G., and Wolford, J.(1977). Applied Numerical Methods for Digital
Computation with Fortran and CSMP. Harper y Row, Publishers, Inc.

Jawad, H.(1994), Theory and Design of Plate and Shell Structures. Chapman & Hall
Inc., New York.

Jensen, M. y Meckling, W.(1992). Specific and general Knowledge and organizacional structure. L. Werin and Wijkander (Eds) Contract economics, Blackwell, Oxford.

Kalmanok, A.(1959), Manual para Cálculo de Placas. Editora Inter Ciencia, 1ra., ed., Moscú.

Langhaar, H.(1962). Energy Method in Applied Mechanics. John Wiley, New York.

Matusik, S. y Hill, C. (1998). The utilization of contingent work, knowledge creation, and competitive advantage. Academy of Management Review, vol. 23, nº 4.

Machlup, F. (1983). Semantic quirks in studies of information in Machlup. New York, Jhon Wiley.

Muñoz, B. y Riverola, J. (1997). Gestión del Conocimiento. Biblioteca IESE de Gestión de Empresas, Universidad de Navarra, Folio, Barcelona

Nakamura, S.(1992), Métodos Numéricos Aplicados con Software. Prentice Hall, 1ra. Ed., Hispano-Americana S.A. México.

Newman, V. (1997). Redefinig Knowledge management to deliver competitive advantage. Journal of Knowledge Management, Vol.1 nº. 2.

Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, Oxford.

Park, R.(1975); *Losas de Concreto Reforzado*. Editorial Limusa, México, 1975.

Qium, W.(1983), *STAN: Programa de Computación con fines Didácticos para el*

Análisis Automático de Estructuras. Tesis de Bachiller, Pontifica Universidad Católica del Perú.

Reddy, J.(1984) *An introduction to The Finite Element Method*. McGraw-Hill New York.

Senge. P. (1996), *Organización sistêmica*; Ob. Citada pp. 99-103

Seegerlind, L.(1976). **Applied finite element Analysis**. John Wiley, New York.

Sokolnikoff, N.(1966), **Mathematical Theory of Elasticity**. McGraw-Hill Publishing Co., 2nd ed., New York.

Szilar, R.(1974), **Theory and Analysis of Plates**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York.

Timoshenko, S. and Goodier, J.(1951), **Theory of Elasticity**. McGraw-Hill, 2nd ed.,

Timoshenko, S. and Woinowski-Krieger, S.(1959) **Theory of Plates and shells.**
McGraw-Hill, 2nd ed.

Von Krong, G. (1998). Care in Knowledge creation. California Management Review
n° 40.

Zienkiewicz, O.(1977) **The Finite Element Method.** Expanded and revised 3ra.
Ed., McGraw-Hill, London.

Zienkiewicz, O. and Cheung, Y.(1967) **The finite Element Method in structural and
Continuum Mechanics,** McGraw-Hill, London.

Zienkiewicz, O. y Taylor, R.(1994). **El Método de los Elementos Finitos,** vol. 1, 4ta.
Ed., Barcelona – España.

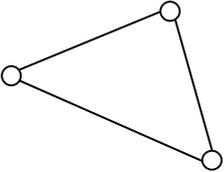
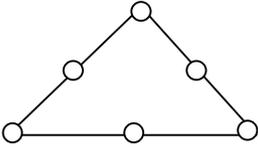
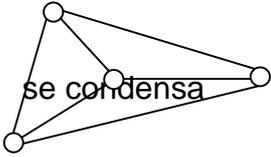
ANEXOS

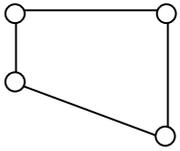
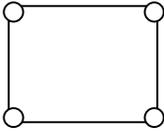
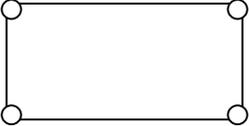
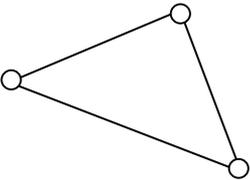
ANEXO A:

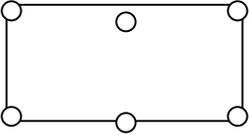
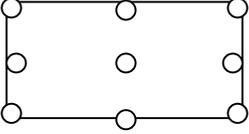
Comparación de resultados de desplazamientos en losas, mediante el método de los elementos finitos, con respecto a otros Autores

La comparación de los resultados de desplazamientos obtenidos para losas con diferentes números de lados y de borde; previamente se identifican los tipos de elementos usados como se muestra en la tabla 12 y los resultados comparativos se muestran en las Fig.49 al Fig.52.

Tabla 12 Elementos Estudiados para losas cuadradas simplemente apoyadas y empotradas en sus cuatro bordes, por Tocher, Melosh, Argyris, Bosshard, Zienkiewics y otros (Ref. [11], y se compara con los elementos utilizados en la presente tesis.

<u>Símbolo GDL</u>	<u>Tipo de elemento</u>	<u>Desp. y curvaturas</u>	<u>Referencias</u>
P, Q 18		w w,x w,y	KIKUCHI, F.
TUBA 6 21		w w,x w,y w,xx w,xy w,yy	ARGYRIS, J.H.
HCT 9		w w,x w,y	TOCHER, J.L.
ACM 12 CLOUGH		w w,x w,y	ARGYRIS, Y MELOSH.

<u>Símbolo GDL</u>	<u>Tipo de elemento</u>	<u>Desp. y curvaturas</u>	<u>Referencias</u>	
C, Q	16		w w,x w,y w,xy	FRAEIJIS DE VEUBEKE, B.
CR	16		w w,x w,y w,xy	SCHIMDT, R.
M	12	 (Polinomio de 4to. Grado incompleto)	w w,x w,y	MELOSH, R.S.
Z O.C.	9		w w,x w,y	ZIENKIEWICZ,
DINAMICS 17 TESIS			w w,x w,y	

<u>Símbolo GDL</u>	<u>Tipo de elemento</u>	<u>Desp. y curvaturas</u>	<u>Referencias</u>
TAN8 24		w w,x w,y	TESIS
STAN9 27		w w,x w,y	TESIS

ANEXO “B”

DESCRIPCION DEL PROGRAMA: DINAMICA 17 PARA LOSAS

B.1 INTRODUCCIÓN

El programa general presentado fue desarrollado inicialmente por E.L. Wilson (Febrero, 1974) en la Universidad de California Berkeley e implementado en sistema IBM 4331 por Daniel Quiun (Ref. [26])(Noviembre, 1982) Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. En el presente trabajo se ha creado subrutinas para el desarrollo numérico para las losas.

B.2 OBJETO

El programa está escrito en lenguaje FORTRAN, para análisis de estructuras sometidas a cargas estáticas, en particular para losas. En este programa se puede analizar losas con diferente forma geométrica (cuadradas, rectangulares, circulares, etc.), material y espesor variable, con opciones tales como generación automática de nudos, elementos y cargas en los elementos y nudos.

B.3 DESCRIPCIÓN

El programa está basado en el método general de rigidez y adaptado al método de los elementos finitos para el caso de losas. Cada nudo de la estructura puede tener en general 6 movimientos o grados de libertad independientes (3 desplazamientos lineales y 3 giros). Según el tipo de estructura, algunos de estos movimientos serán nulos para todos los nudos independientemente de la presencia de apoyos o restricciones; por ejemplo, para el caso de losas planas, contenidos en el plano X – Y, los desplazamientos en la dirección e Y y el giro según el eje Z están forzosamente restringidos.

El programa permite el tipo de elemento:

- Elemento tipo losa

Las losas planas deben estar ubicados en el plano X-Y (ver sistema de ejes en Fig. a.1) y pueden contener elementos tipo losa.

El programa permite analizar simultáneamente varios casos de carga actuando sobre la estructura. Un caso de carga consiste en un grupo de cargas aplicadas en los nudos (fuerzas y/o momentos) en las direcciones correspondientes a los grados de libertad del nudo. El otro grupo de cargas están aplicados en los elementos como carga uniforme.

El análisis de la estructura consiste en el cálculo de los desplazamientos lineales y giros de los nudos y los esfuerzos en los elementos.

B.4 SISTEMAS DE REFERENCIA Y CONVENCION DE SIGNO

De usarse el mismo sistema de unidades en todo el trabajo.

Sistema Global

Se usa para definir la geometría de la estructura y la posición de las cargas.

Los sentidos positivos de los grados de libertad y cargas se toman siguiendo los ejes rectangulares cartesianos que se muestran en la Fig. A.1.

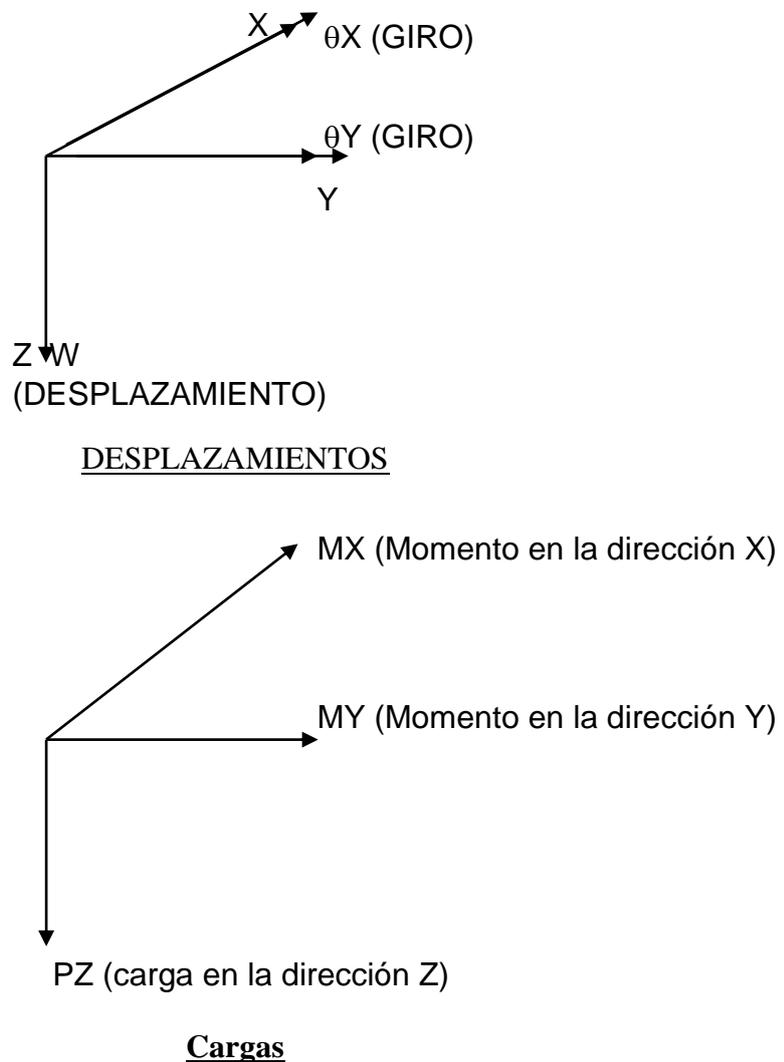


FIG. A.1

Sistema Local

Se usa para presentar los desplazamientos finales en los elementos. La convención de signos es la siguiente:

B.5 ENTRADA DE DATOS

La secuencia de los datos se explica en la tabla A.1.

TABLA B.1 ENTRADA DE DATOS PARA EL PROGRAMA

VARIABLE NOTAS	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES Y
TITULO	DATOS DE ENCABEZADO (FORMATO : A80) COLUMNAS 1-72 TITULO DEL
TRABAJO	
READ (5,900)ASTER TITU	COMENTARIOS GENERALES (FORMATO : A80)
ITEM,NUMNP,NELTYP,NUMLC,IFPR	LECTURA DE DATOS DE CONTROL GENERAL DE LA ESTRUCTURA (FORMATO : LIBRE) NUMNP=NUMERO TOTAL DE NUDOS NELTYP=NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE ELEMENTOS NUMLC=NUMERO DE ESTADOS DE CARGA ITEM = INDICADOR DE ANALISIS (=0) ESTATICO, (=1)DINÁMICO IFPR = INDICADOR DE ANALISIS DE FRECUENCIAS: (=0) SIN ITERACION, (=1) CON ITERACION
ASTER TITULO	COMENTARIOS GENERALES (FORMATO : A80)

M = NUDO FINAL
I = INCREMENTO
XM, YM, ZM = COORDENADAS
DEL NUDO FINAL

ASTER
TITULO

COMENTARIOS GENERALES
(FORMATO : A80)

ITYPO, NUMTBA

(FORMATO : LIBRE)
LECTURA DE:

ITYPO=NUMERO DE TIPO DE
ELEMENTO

ACTIVADO)

ITYPO =1(TIPO ARMADURA...NO

ITYPO =2(TIPO PORTICO...NO ACTIVADO)

ITYPO =3(TIPO VIGA...NO ACTIVADO)

ITYPO =4(TIPO LOSA)

NUMTBA=NUMERO DE ELEMENTOS
DE ESE TIPO

ASTER
TITULO

COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
(FORMATO : A80)

IEL, NPE, IMESH, NPRINT

(FORMATO : LIBRE)

ELEMENTOS

LEE LOS DATOS GENERALES PARA LOS

TIPO LOSA

LECTURA DE:

IEL = INDICADOR PARA TIPO
DE ELEMENTO LOSA

IEL= 1--->NPE=4 NUDOS POR ELEMENTO

IEL= 2--->NPE=8-9 NUDOS POR

ELEMENTO

IMESH=INDICADOR PARA LA

GENERACION

DE LA MALLA

IMESH=0 INFORMACION DE LA LECTURA
DE LA MALLA

IMESH=1 INFORMACION DE LA

GENERACION

DE LA MALLA

NPRINT=INDICADOR PARA IMPRIMIR

LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE

ELEMENTO

NPRINT= 0 NO IMPRIME

NPRINT= 1 IMPRIME

TABLA ENTRADA DE DATOS PARA EL PROGRAMA

VARIABLE	DESCRIPCION DE LAS VARIABLES Y NOTAS
ASTER TITULO	COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS (FORMATO : A80)
((NOD(I,J),J=I,NEP)I=1,NEM) ELEMENTOS LECTURA	SI 'IMESH' ES IGUAL A 0 REALIZAR LA LECTURA DE LA CONECTIVIDAD DE ELEMENTOS EN CASO CONTRARIO NO SE HACE ESTA LECTURA (FORMATO : LIBRE) NOD(I,J);I=1,NUMERO DE ELEMENTOS ;J=1,NUMERO TOTAL DE NUDOS
NX,NY	SI 'IMESH' ES IGUAL A 1 REALIZAR LA LECTURA DEL NUMERO DE ELEMENTOS EN CADA DIRECCION PARA GENERAR LA CONECTIVIDAD DE LOS ELEMENTOS (FORMATO : LIBRE) NX,NY-->NUMERO DE ELEMENTOS EN LAS DIRECCIONES X e Y
ASTER TITULO	COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS (FORMATO : A80)
E1,E2,G12,G13,G23,ANU12,HA MECANICAS	LECTURA DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS TIPO LOSA (FORMATO : LIBRE)
ELASTICIDAD Y	DONDE: E1,E2= SON LOS MODULOS DE DE YOUNG A LO LARGO DE LAS COORD.X e G12,G13,G23=SON LOS MODULOS DE

ELASTICIDAD AL CORTE EN LOS PLANOS
X-Y,X-Z eY-Z, RESPECTIVAMENTE
ANU12=RELACION DE POISSON
HA=ESPESOR DE LA LOSA

ASTER
TITULO

COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
PARA DINAMICA SI ITEM ES IGUAL A 1
EN CASO CONTRARIO NO REALIZAR ESTA
LECTURA

(FORMATO : A80)

NTIME,NSTP,NOZERO,DT,ALFA,RHO LECTURA DE DATOS

NTIME = NUMERO DE ETAPAS DE TIEMPO
EN EL ANALISIS TRASIENTE

NSTP = NUMERO DE ETAPAS EN LA CUAL
ES REMOVIDO LA CARGA

CONDICIONES

NOZERO=INDICADOR DE LAS

INICIALES EN EL ANALISIS

TRASIENTE (NOZERO=0) O

(NOZERO=1,EXISTE DESPLAZAMIENTOS,
VELOCIDADES Y ACELERACIONES)

DT= INCREMENTO DE TIEMPO EN EL
ANALISIS TRASIENTE

ALFA=PARAMETRO EN LA ESQUEMA DE
NEWMARK

RHO= DENSIDAD DEL MATERIAL

ASTER
TITULO

COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
PARA DINAMICA SI ITEM ES IGUAL A 1

NUTCAR
EN

LECTURA DE:

NUTCAR=NUMERO DIFERENTE DE CARGAS

CARGA

LOS ELEMENTOS DEL ESTADO DE

NUDOS

NUTCAR=1 CARGA CONCENTRADA EN LOS

ELEMENTOS

2 CARGA REPARTIDA EN LOS

REPARTIDA

3 CARGA CONCENTRADA Y

ASTER

TITULO	COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS SI LAS CARGAS SON UNICAMENTE CONCENTRADA EN LOS NUDOS STOP
NNC LEEN	PARA CADA NUDO CARGADO 'NN(L)',SE
APLICADAS	LAS CARGAS APLICADAS RR(L,I) SOLO SE ASIGNAN LAS CARGAS SI ESTAN
LIBERTAD	EN LA DIRECCION DE UN GRADO DE
READ (5,*)NN(L),(RR(L,I)I=1,6)	L=1,NNC

ASTER TITULO	COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS SE CONSIDERA CARGA REPARTIDA EN LOS LOS ELEMENTOS
NETC	LECTURA DE: NETC= NUMERO DE VECES QUE SE GENERA
LA	CARGA REPARTIDA
NN(JJ)IN,MM(JJ),PO	LECTURA DE: NN(JJ)= NUMERO DE ELEMENTO INICIAL IN= INCREMENTO MM(JJ)=NUMERO DE ELEMENTO FINAL PO= CARGA REPARTIDA CDO 1000 JJ=1,NETC

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Se muestra, como ejemplo, la entrada de datos de una losa cuadrada simplemente apoyada en sus bordes y con carga uniformemente repartida. Por simetría se utiliza la cuarta parte de la losa, subdividiendo en una malla de 2x2.

EJEMPLO 1 LOSA S.A. 2X2 CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA
C ANAL,ESTATICO,9 NUDOS,1 TIPO DE DIF. ELEMENTO, 1 ESTD.CARGA,SIN
FRECUE

```

0 9 1 1 0
C GENERACION DE CODIGO PARA GENERAR LOS GRADOS DE LIBERTAD
1 1 1 0 1 1 1 0 0
2 1 1 0 0 1 1 0 0
3 1 1 1 0 1 1 0 0
4 1 1 0 1 0 1 0 0
5 1 1 0 0 0 1 0 0

```

```
6 1 1 1 0 1 1 0 0
7 1 1 1 1 0 1 0 0
8 1 1 1 1 0 1 0 0
9 1 1 1 1 1 1 0 0
```

C GENERACION DE COORDENADAS

```
1 0.0 0.0 0.0 3 1 5.0 0.0 0.0
4 0.0 2.5 0.0 6 1 5.0 2.5 0.0
7 0.0 5.0 0.0 9 1 5.0 5.0 0.0
```

C TIPO DE ELEMENTO 4(LOSA), 4 ELEMENTOS

```
4 4
```

C COD. (ELEM. LOSA) 1 -> 4 NUDOS, GENER. MALLA. E IMPRIME

```
1 4 1 0
```

C GENERACION DE LA MALLA EN X e Y

```
2 2
```

C PROPIEDADES MECANICAS DE LA LOSA

```
1.0E6 1.0E6 0.384E6 0.384E6 0.384E6 0.30E0 0.1E0
```

C TIPO DE CARGA EN LA LOSA : REPARTIDA

```
2
```

GENERACION AUTOMATICA DE LA CARGA EN LA LOSAS

```
2
```

```
1 1 2 100.0
```

```
3 1 4 100.0
```

B.6 IMPRESIÓN DE RESULTADOS

a) Datos de entrada

Para la salida de los resultados se ha utilizado los mismos parámetros de salida del programa STAN (Ref. [25]), tal como se indica a continuación.

Primeramente se imprimen los datos generales de la estructura y los datos de los nudos; seguidamente, para cada nudo se indica la numeración de las incógnitas (desplazamientos o giros) que el programa asigna a los grados de libertad correspondientes. Luego se imprimen los datos de los elementos, por tipos de elementos.

A fin de llevar una estadística, se imprimen el número total de elementos, el número de ecuaciones (igual al número de grados de libertad) y el ancho de banda calculado para la estructura en análisis.

b) Resultados de Análisis

Para cada nudo se imprimen los 3 desplazamientos y los 3 giros, en sistema global, para cada caso de carga.

Finalmente, se imprimen los esfuerzos en cada elemento, en su sistema local, para cada caso de carga.

EJEMPLO LOSA S.A. 2X2

ANALISIS:ESTATICO(=0) DINAMICO(=1) = 0
 NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE ELEMENTOS = 9
 NUMERO DE NUDOS = 1
 NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE CARGA = 1

CODIGOS DE RESTRICCION COORDENADAS DE LOS NUDOS
 0 = LIBRE ; 1 = RESTRINGIDO

NUDO NUMERO	DESPLAZAM.			GIRO			X	Y	Z
	X	Y	Z	X	Y	Z			
1	1	1	0	1	1	1	.000	.000	.000
2	2	2	0	0	1	1	2.500	.000	.000
3	1	1	1	0	1	1	5.000	.000	.000
4	1	1	0	1	0	1	.000	2.500	.000
5	1	1	0	0	0	1	2.500	2.500	.000
6	1	1	1	0	1	1	5.000	2.500	.000
7	1	1	1	1	0	1	.000	5.000	.000
8	1	1	1	1	0	1	2.500	5.000	.000
9	1	1	1	1	1	1	5.000	5.000	.000

NUMERACION DE LAS INCOGNITAS

NUDO	DESPLAZAM.			GIRO		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	0	1	0	0	0
2	0	0	2	3	0	0
3	0	0	0	4	0	0
4	0	0	5	0	6	0
5	0	0	7	8	9	0
6	0	0	0	10	0	0
7	0	0	0	0	11	0
8	0	0	0	0	12	0
9	0	0	0	0	0	0

NUMERO DE ELEMENTOS DEL TIPO LOSA = 4

TIPO DE ELEMENTO (1=LINEAL, 2=CUADRATICO) = 1

NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD POR NUDO = 3

PROPIEDADES DEL MATERIAL:

MODULO,E1= .10000E+07

MODULO,E=2 .10000E+07

MODULO DE CORTE G12= .38400E+06

MODULO DE CORTE G13= .38400E+06

MODULO DE CORTE G23= .38400E+06

MODULO DE POISSON,NU12= .30000E+00

MODULO DE CORRECCION POR CORTE,K= .83333E+00

ESPESOR DE LA PLACA, H= .10000E+00

MATRIZ DE CONECTIVIDAD BOOLEANA

1	1	2	5	4
2	2	3	6	5
3	4	5	8	7
4	5	6	9	8

NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS = 4

NUMERO DE ECUACIONES = 12

ANCHO DE BANDA = 9

GENERACION AUTOMATICA DE LA CARGA EN LA LOSAS

NUMERO DE VECES QUE SE GENERA W0 2

ELEMENTO INIC. INCREM. ELEMENTO FINAL W

1	1	2	.1000E+03
3	1	4	.1000E+03

CASO DE CARGA 1: DESPLAZAMIENTOS

NUDO	DESP.X	DESP.Y	DESP.Z
1	0.00000E+00	0.00000E+00	4.33926E+01
2	0.00000E+00	0.00000E+03	3.08552E+01
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	3.08551E+01
5	0.00000E+00	0.00000E+00	2.19752E+01

6	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

CASO DE CARGA 1:

DESPLAZAMIENTOS

NUDO	GIRO X	GIRO Y	GIRO Z
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	1.00247E+01	0.00000E+00	0.00000E+00
3	1.46438E+01	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	1.00248E+01	0.00000E+00
5	7.10131E+00	7.10136E+00	0.00000E+00
6	1.04659E+01	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	1.46437E+01	0.00000E+00
8	0.00000E+00	1.04658E+01	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

X-COORD	Y-COORD	SIGMAX	SIGMAY	SIGMAXY	SIGMAXZ	SIGMAYZ
.1250E+01	.1250E+01	.4078E+03	.4078E+03	-.3742E+02	-.6249E+02	-
.6251E+02						
.3750E+01	.1250E+01	.1852E+03	.1739E+03	-.9090E+02	-.2292E+03	-
.2081E+02						
.1250E+01	-.3750E+01	.1739E+03	.1852E+03	-.9090E+02	-.2082E+02	-
.2292E+03						
-.3750E+01	-.3750E+01	.8011E+02	.8011E+02	-.2249E+03	-.1042E+03	-
.1042E+03						

ANEXO C:

LISTADO DEL PROGRAMA DINAMICA 17

*

*

* ANALISIS DE LOSAS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

*

* FECHA: 18 DE AGOSO 2017

*

* FRAN3.FOR

*

*

\$LARGE

\$NOFLOATCALLS

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)

COMMON /ELPAR/ X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),

1 NUMP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM

CHARACTER * 64 FEN,FSA

CHARACTER * 80 TITULO

CHARACTER * 80 TITU

CHARACTER * 10 ASTER

REAL KT(200,70)

DIMENSION Q(200),D(200)

OPEN

(1,FILE='BARRAS.T',

STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

OPEN

(2,FILE='ESFUER.T',

STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

OPEN

(3,FILE='ELEMEN.T',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

OPEN (4,FILE='CARGAS.T',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='DIRECT',

\$ FORM='UNFORMATTED',RECL=800)

OPEN (7,FILE='MASAS.T',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

OPEN (8,FILE='RGDIK.T',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

OPEN (9,FILE='VECDF.T',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL',

\$ FORM='UNFORMATTED')

WRITE(*,212)

212 FROMAT(//////////1X,'INGRESA NOMBRE DEL FILE DE DATOS'///)

READ (*,213) FEN

WRITE(*,412)

412 FROMAT(//////////1X,'INGRESA NOMBRE DEL FILE SALIDA'///)

READ(*,213)FSA

213 FROMAT(A64)

```

OPEN(5, file=FEN)
OPEN(6,file=FSA,STATUS='UNKNOWN',ACCESS='SEQUENTIAL')

C
C INICIALIZACION DE VARIABLES:
C MBAND =ANCHO DE BANDA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL
C NUMTEL=NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS
C
C MBAND = 0
C NUMTEL= 0
C
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
C READ (5,800) TITULO
C READ (5,900) ASTER
C
C LECTURA DEL TITULO DEL PROBLEMA
C
C READ (5,1000) TITU
C
C LECTURA DE DATOS DE CONTROL GENERAL DE LA ESTRUCTURA
C NUMNP = NUMERO TOTAL DE NUDOS
C NELTYP= NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE ELEMENTOS
C NUMLC= NUMERO DE ESTADOS DE CARGA
C ITEM = INDICADOR DE ANALISIS (=0) ESTATICO, (=1) DINAMICO
C IFPR=INDICADOR DE ANALISIS DE FRECUENCIAS :
C (=0) SIN ITERACCION, (=1) CON ITERACCION
C
C READ (5,*) ITEM,NUMNP,NELTYP,NUMLC,IFPR
C WRITE(6,2000) TITULO,ITEM,NUMNP,NELTYP,NUMLC
C
C REALIZA LA LECTURA DE DATOS DE
C NUDOS Y LA FORMACION DE LA MATRIZ ID(NUMNP,6), EN 'CALL INPUTJ'
C COORDENADAS GLOBALES X(N),Y(N),Z(N)
C
C CALL INPUTJ
C
C REGRESA AL ARCHIVO DE ALMACENAMIENTO 1 Y 2 DE
C ACC.SECUENCIAL
C PARA FORMAR LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE ELEMENTOS (FILE 1) Y LA
C TRANSFORMACION DE ESFUERZOS DE CADA ELEMENTO (FILE 2)
C
C REWIND 1
C REWIND 2
C
C DO 100 M=1,NELTYP

```

```

C
C  LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
      READ (5,900) ASTER
      READ (5,1000) TITU

C
C  LECTURA DE:
C  ITYPO = NUMERO DE TIPO DE ELEMENTO
C  ITYPO = 1 (TIPO ARMADURA)
C  ITYPO = 2 (TIPO PORTICO)
C  ITYPO = 3 (TIPO VIGA)
C  ITYPO = 4 (TIPO LOSA)
C  NUMTBA= NUMERO DE ELEMENTOS DE ESE TIPO
C
      READ (5,*) ITYPO,NUMTBA

C
C  GUARDA EN FILE 2: ITYPO Y NUMTBA
C
      WRITE (2) ITYPO,NUMTBA

C
C  REALIZA CALCULO DE RIGIDECES
C  SEGÚN EL TIPO DE ELEMENTO EN 'CALL ELSTF'

      CALL ELSTF (ITYPO,NUMTBA)

      IF (ITEM.EQ.1) THEN

C
C  REALIZA EL CALCULO DE MATRICES DE MASAS POR ELEMENTO
C  EN 'CALL ELMASA'
C
      CALL ELMASA (ITYPO,NUMTBA)

      ENDIF

      NUMTEL =NUMTEL + NUMTBA

100  CONTINUE
C
C  NUMTEL = NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS
C  NEQ          = NUMERO DE ECUACIONES DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ
TOTAL
C  MBAND        = ANCHO DE LA SEMIBANDA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ
TOTAL
C
      WRITE (6,2001) NUMTEL,NEQ,MBAND

```

```

C
C SE REALIZA EL ENSAMBLAJE DEL VECTOR CARGA
C SEGÚN EL TIPO DE ELEMENTO EN 'CALL CARGAS'
C
C CALL CARGAS
C
C PARA EL ANALISIS ESTATICO REALIZA EL ENSAMBLAJE
C
C IF(ITEM.EQ.0) THEN
C
C SE REALIZA EL ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ
C DE RIGIDEZ TOTAL KT EN 'CALL ADDSTF'.
C
C CALL ADDSTF(KT,NUMTEL)
C
C LA TRIANGULIZACION DE LA
C MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL SE REALIZA EN 'CALL TRIAN'.
C
C CALL TRIANT(KT,NEQ,MBAND)
C
C CALCULA LOS DESPLAZAMIENTOS PARA CADA ESTADO DE CARGA Y
ALMACENA
C EN EL ARCHIVO 4 (DIRECTO)
C
C DO 60 LL=1,NUMLC
C
C LEE EL VECTOR DE CARGAS DE FILE 4
C
C READ (4,REC=LL)(Q(I),I=1;NEQ)
C
C LA RESOLUCION DE SISTEMA DE
C ECUACIONES SE REALIZA EN 'CALL SOLVE'.
C
C CALL SOLVE (KT,Q,NEQ,MBAND)
C
C GRABA EL VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS DE NUDOS EN EL FILE 4
C
C DO 49 I = 1,NEQ
49 D(I)=Q(I)
C
C WRITE (4,REC=LL)(D(I),I=1,NEQ)
60 CONTINUE

```

```

C
C LA IMPRESION DE LOS DESPLAZAMIENTOS,
C PARA CADA CASO DE CARGAM SE REALIZA EN 'CALL DPRINT'.
C
C CALL DPRINT
C
C EL CALCULO DE ESFUERZOS SEGÚN EL
C TIPO DE ELEMENTO, SE REALIZA EN 'CALL ELFOR'.
C
C CALL ELFOR
C ELSE
C
C ANALISIS DINAMICO DE LOSAS POR EL METODO DE NEWMARK
C
C CALL RESPDIN
C ENDIF
C STOP
800 FORMAT (A80)
900 FORMAT (A10)
1000 FORMAT (A80)
2000 FORMAT (81X,A80//'ANALISIS:ESTATIVO(=0) DINAMICO(=1)      =',I4/
$          'NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE ELEMENTOS=',I4/
$          'NUMERO DE NUDOS          =',I4/
$          'NUMERO DE TIPOS DIFERENTES DE CARGA    =',I4)
2001 FORMAT (//'NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS=',I4/
$          'NUMERO DE ECUACIONES          =',I4/
$          'ANCHO DE BANDA          =',I4,/)

C
C END
*
C
C SUBROUTINE INPUTJ
C
C LECTURA DE DATOS DE NUDOS
C      N = NUMERO DE IDENTIFICACION
C      ID=CLAVE DE RESTRICCION DE GDL (LUEGO SE REEMPLAZA)
C      X,Y,Z =COORDENADAS CARTESIANAS
C
C
C IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C COMMON /ELPAR/ X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1      NUMNP,MBAND,NETYP,NUMLC,NEQ,ITEM
C CHARACTER*80 TITULO
C CHARACTER*10 ASTER
C
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
C READ (5,900) ASTER
C READ (5,1000) TITULO

```

```

C
C   GENERACION AUTOMATICA DE LOS CODIGOS ID Y LAS COORDENADAS
DE LOS
C   NUDOS EN "CALL XYZ".
C
      CALL XYZ
      WRITE(6,2001)

C
C   ESCRIBE:NUM.DE ELEMENTO, CODIGOS ID Y LAS COORDENADAS DE
NUDO
C
      DO 500 M=1,NUMNP
          WRITE(6,2000)M,(ID(M,I),I=1,6),X(M),Y(M),Z(M)
500  CONTINUE

C
C   REEMPLAZA LA MATRIZ ID POR NUMERACION DE INCOGNITAS
C
      NEQ=0
      DO 600 N=1,NUMNP
          DO 400 I=1,6
              II=ID(N,I)
              IF(II.EQ.0)THEN
                  NEQ=NEQ+1
                  ID(N,I)=NEQ
              ELSE
                  ID(N,I)=0
              ENDIF
400  CONTINUE
600  CONTINUE
      WRITE(6,2005)(N,(ID(N,I),I=1,6),N=1,NUMNP)
      RETURN
900  FORMAT(A10)
1000 FORMAT(A80)
2001 FORMAT(// ' ,10X,'CODIGOS DE RESTRICCION           ',8X,
$ 'COORDENADAS DE LOS NUDOS'//9X,'0=LIBRE; 1=RESTRINGIDO'//
$ 'NUDO',5X'DESPLAZAM.',8X,'GIRO'//'NUMERO',3X,
$ 2(IHX,4X,1HZ,4X),6X,1HX,12X,1HY,12X,1HZ/)
2000 FORMAT(1X,7I5,3F13.3)
2005 FORMAT(//'NUMERACION DE LAS INCOGNITAS'//
$ 'NUDO',5X,'DESPLAZAM.',7X,'GIRO'//9X,2(1HX,4X,1HY,4X,1HZ,4X)//
$ (7I5))
      END
*
      SUBROUTINE XYZ
C

```

```

C GENERACION AUTOMATICA DE LOS CODIGOS ID Y COORDENADAS
C
C LECTURA DE DATOS DE NUDOS
C     N=NUMERO DE IDENTIFICACION
C     ID=CLAVE DE RESTRICCION DE GDL (LUEGO SE REEMPLAZA)
C     X,Y,Z=COORDENADAS CARTESIANAS
C
C     IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C     COMMON/ELPAR/ X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1     NUMNP,MBAND,NETYP,NUMLC,NEQ,ITEM
C     CHARACTER*80 TITULO
C     CHARACTER*10 ASTER
C
C GENERACION AUTOMATICA DE CODIGO DE RESTRICCIONES
C
C INICIALMENTE SE HACE GENERAR LOS CODIGOS DE RESTRICCIONES
C SIMULANDO SER TOTALMENTE RESTRINGIDO (CLAVE=1)
C
C     DO 30 I=1,NUMNP
C         DO 30 J=1,6
30     ID(I,J)=1
C
C
C LECTURA DE:
C     N=NUDO INICIAL
C     ID=CODIGO DE RESTRICCION (CEROS Y/O UNOS)
C     M=NUDO FINAL
C     IN=INCREMENTO
C     KN=(SE OMITIO)
C     NUMNP =NUMERO TOTAL DE NUDOS
C
300  READ(5,*)N,(ID(N,I),I=1,6),M,IN
C     IF(M,GT,N) THEN
C         J=N+IN
C         DO 150 K=J,M
C             DO 100 I=1,6
100         ID(K,I)=ID(N,I)
C             N=K
150     CONTINUE
C     ENDIF
C     IF(N.LT.NUMNP) GO TO 300
C
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
C     READ (5,900) ASTER
C     READ (5,1000) TITULO

```

```

C
C      LECTURA DE:
C              N= NUDO INICIAL
C      X(N),Y(N),Z(N)= COORDENADAS DEL NUDO INICIAL
C              M= NUDO FINAL
C              I= INCREMENTO
C      XM,YM,ZM= COORDENADAS DEL NUDO FINAL
C

350  READ(5,*) N,X(N),Y(N),Z(N),M,I,XM,YM,ZM
      IF(M.GT.N) THEN
          DN=(M-N)/I
          DX=(XM-X(N))/DN
          DY=(YM-Y(N))/DN
          DZ=(ZM-Z(N))/DN
C
          J=N+I
          DO 400 K=J,M,I
              X(K)=X(N)+DX
              Y(K)=Y(N)+DY
              Z(K)=Z(N)+DZ
              N=K
400  CONTINUE
      ENDIF
450  IF(N.LT.NUMNP) GOTO 350
      RETURN
900  FORMAT(A10)
1000 FORMAT(A80)
      END
*
      SUBROUTINE ELSTF(ITYPO,NUMTBA)
C
C  CALCULO DE MATRICES DE RIGIDEZ Y ESFUERZOS DE LOS ELEMENTOS:
C  TIPO 1: ARMADURA          (USO DE SBR TRUSS)
C  TIPO 2: PORTICO PLANO     (USO DE SBR FRAME)
C  TIPO 3: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR BEAM)
C  TIPO 4: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR LOSAS)
C
C      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1          NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM

C
C  USAR EL ELEMENTO APROPIADO
C  MTYPE=ITYPO :NUMERO DE TIPO DE ELEMENTO
C

```

```

MTYPE=ITYPO
GO TO(1,2,3,4), MTYPE
C
C ELEMENTOS TIPO ARMADURA (PLANA O ESPACIAL)
C LLAMA A LA SUBROUTINA TRUSS QUE CALCULA LA MATRIZ DE RIGIDEZ K,
C ST Y CODIGO PARA ELEMENTOS TIPO ARMADURA.
C
C 1 CALL TRUSS (NUMTBA)
C GO TO 900
C
C 1 CONTINUE
C
C ELEMENTOS TIPO PORTICO PLANO (EN PLANO X-Y)
C LLAMA A LA SUBROUTINA FRAME PARA EL CALCULO DE MATRIZ DE
RIGIDEZ
C K*,ST Y CODIGO PARA ELEMENTOS TIPO PORTICO.
C 2 CALL FRAME (NUMTBA)
C GO TO 900
C
C 2 CONTINUE
C
C LLAMA A LA SUBROUTINA BEAM QUE CALACULA LA MATRIZ DE RIGIDEZ
K,
C Y CODIGO PARA ELEMENTOS FINITOS TIPO VIGA
C
C 3 CALL BEAM (NUMTBA)
C GO TO 900
C
C 3 CONTINUE
C
C ELEMENTOS TIPO LOSAS CON CARGA TRANSVERSAL
C LLAMA A LA SUBROUTINA LOSAS PARA EL CALCULO DE MATRIZ DE
RIGIDEZ
C K*Y CODIGO PARA ELEMENTOS FINITOS TIPO LOSA
C
C 4 CALL LOSAS (NUMTBA)
900 RETURN
END
*
SUBROUTINE LOSAS (NUMTBA)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6)
1 NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
COMMON/CELM/NOD(200,9)
COMMON/MELAST/D(3,3)D44,D55
COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
DIMENSION LM(27),ELXY(9,2),S(27,27)

```



```

ELSE
C
C   LECTURA
C     NX,NY -----> NUMERO DE ELEMENTOS EN LAS DIRECCIONES X e Y
C
C     READ(5,*) NX,NY
C
C   LLAMA A KA SUBROUTINA 'CELEM' PARA QUE GENERE LA
CONECTIVIDAD
DE
C   ELEMENTOS DEL TIPO LOSA
C
C     CALL CELEMN (IEL,NX,NY,NPE,NNM,NEM)
ENDIF
C
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
C     READ (5,900) ASTER
C     READ (5,990) TITULO
C
C
C LECTURA DE:
C   E1,E2= SON LOS MODULOS DE ELASTICIDAD DE YOUNG A LO LARGO
C     DE LAS COORDENADAS X e Y
C   G12,G13,G23= SON LOS MODULOS DE ELASTICIDAD AL CORTE EN LOS PLANOS
C     X-Y,X-Z e Y-Z, RESPECTIVAMENTE
C   ANU12= RELACION DE POISSON
C   HA= ESPESOR DE LA LOSA
C
C     READ(5,*)E1,E2,G12,G13,G23,ANU12,HA
C     AK=5.0/6.0
C     ANU21=ANU12*E2/E1
C     DENOM=(1.0-ANU12*ANU21)
C     TOP=(HA**3)/12.0
C
C   CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ DE ELASTICIDAD
C
C     D(1,1)=E1*TOP/DENOM
C     D(1,2)=ANU12*E2*TOP/DENOM
C     D(1,3)=0.0
C     D(2,2)=D(1,1)*E2/E1
C     D(2,3)=0.0
C     D(3,3)=G12*TOP
C
C     D44=G13*HA*AK
C     D55=G23*HA*AK
C
C
C   MATRIZ DE ELASTICIDAD DEL ELEMENTO

```

```

C
      DO 1000 I=1,3
      DO 1000 J=1,3
1000    D(J,I)=D(I,J)

C
C  ESCRIBE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DEL ELEMENTO LOSA
C
      WRITE (6,2000) NEM
      WRITE (6,310) IEL
      WRITE (6,320) NDF
      WRITE (6,330) E1,E2,G12,G13,G23,ANU12,AK,HA
      WRITE (6,360)

C
C  ESCRIBE LA CONECTIVIDAD DE LOS ELEMENTOS TIPO LOSA
C
      DO 800 KK=1, NEM
800    WRITE(6,2001) KK,(NOD(KK,I),I01,NPE)

      NN=NPE*NDF

C
C  GENERACION DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ PARA CADA ELEMENTO TIPO
C  LOSA DE: CUATRO NUDOS, OCHO NUDOS O NUEVE NUDOS
C
      DO 600 M=1,NEM
          I1=NOD(M,1)
          J1=NOD(M,2)
          K1=NOD(M,3)
          L1=NOD(M,4)
          NOD=12
          NS=12
          IF(NPE.GT.4) THEN
              I2=NOD(M,5)
              J2=NOD(M,6)
              K2=NOD(M,7)
              L2=NOD(M,8)
              ND=24
              NS=24
          IF(NPE.EQ.99) THEN
              I3=NOD(M,9)
              ND=27
              NS=27
          ENDIF
          ENDIF
      DO 500 I=1,NPE
          NI=NOD(M,I)
          ELXY(I,1)=X(NI)
          ELXY(I,2)=Y(NI)
500    CONTINUE
          NGP=IEL+1

```

```

                                LGP=IEL
C
C  INICIALIZACION LA MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO LOSA
C
                                DO 550 I=1,NN
                                DO 550 J=1,NN
550                                S(I,J)=0.0
C
C  CUADRATURA DE GAUSS
C
                                DO 450 NI=1,NGP
                                DO 450 NJ=1,NGP
                                    XI=GAUSS(NI,NGP)
                                    ETA=GAUSS(NJ,NGP)
                                    CALL FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
                                    CNST=DET*WT(NI,NGP)*WT(NJ,NGP)
C
C  DEFINE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ 'STIF' Y LA MATRIZ 'H'
C
                                II=1
                                DO 400 I=1,NPE
                                    JJ=1
                                    DO 350 J=1,NPE
                                        S(II+1,JJ+1)=S(II+1,JJ+1)+D(1,1)*GDSF(1,I)*GDSF(1,J)
                                        $                                     +D(3,3)*GDSF(2,I)*GDSF(2,J))*CNST
                                        S(II+1,JJ+2)=S(II+1,JJ+2)+D(1,2)*GDSF(1,I)*GDSF(2,J)
                                        $                                     +D(3,3)*GDSF(2,I)*GDSF(1,J))*CNST
                                        S(II+2,JJ+1)=S(II+2,JJ+1)+(D(1,2)*GDSF(2,I)*GDSF(1,J)
                                        $                                     +D(3,3)*GDSF(1,I)*GDSF(2,J))*CNST
                                        S(II+2,JJ+2)=S(II+2,JJ+2)+(D(3,3)*GDSF(1,I)+GDSF(1,J)
                                        $                                     +D(2,2)*GDSF(2,I)*GDSF(2,J))*CNST
350                                JJ=NDF*J+1
400                                II=NDF*I+1
450                                CONTINUE
C
C  CUADRATURA DE GAUSS (INTEGRACION REDUCIDA)
C
                                DO 200 NI=1,LGP
                                DO 200 NJ=1,LGP
                                    XI=GAUSS(NI,LGP)
                                    ETA=GAUSS(NJ,LGP)
                                    CALL FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
                                    CNST=DET*WT(NI,LGP)*WT(NJ,LGP)
                                    II=1
                                DO 150 I=1,NPE
                                    JJ=1
                                DO 100 J=1,NPE

```

```

S(II,JJ) = S(II,JJ)+(D44*GDSF(1,I)*GDSF(1,J)
$          +D55*GDSF(2,I)*GDSF(2,J))*CNST
S(II,JJ+1)=S(II,JJ+1)+D(D44*GDSF(1,I)*SF(J)*CNST
S(II+1,JJ)=S(II+1,JJ)+D44*SF(I)*GDSF(1,J)*CNST
S(II,JJ+2)=S(II,JJ+2)+D55*GDSF(2,I)*SF(J)*CNST
S(II+2,JJ)=S(II+2,JJ)+D55*SF(I)*GDSF(2,J)*CNST
S(II+1,JJ+1)=S(II+1,JJ+1)+D44*SF(I)*SF(J)*CNST
S(II+2,JJ+2)=S(II+2,JJ+2)+D55*SF(I)*SF(J)*CNST
100      JJ=NDF*J+1
150      II=NDF*I+1
200      CONTINUE
IF((NPRINT.EQ.1).AND.(M.EQ.1)) THEN
      WRITE(6,380)
      WRITE(6,300)((S(I,J),J=1;NN),I01,NN)

ENDIF

C
C      VECTOR DE LOCALIZACION DE ELEMENTO DE CUATRO NUDOS
C

      IF(NPE.EQ.4) THEN
            K=0
            DO 30 J=1,3
                  K=K+1
                  LM(K)=ID(I1,J+2)
                  LM(K+3)=ID(J1,J+2)
                  LM(K+6)=ID(K1,J+2)
                  LM(K+9)=ID(L1,J+2)

30      CONTINUE

C
C      VECTOR DE LOCALIZACION 'LM(I)' DE ELEMENTO DE OCHO NUDOS
C

      ELSE IF(NPE.EQ.8) THEN
            K=0
            DO 40 J=1,3
                  K=K+1
                  LM(K)=ID(I1,J+2)
                  LM(K+3)=ID(J1,J+2)
                  LM(K+6)=ID(K1,J+2)
                  LM(K+9)=ID(L1,J+2)
                  LM(K+12)=ID(I2,J+2)
                  LM(K+15)=ID(J2,J+2)
                  LM(K+18)=ID(K2,J+2)
                  LM(K+21)=ID(L2,J+2)

40      CONTINUE
ELSE

```

```

C
C VECTOR DE LOCALIZACION 'LM(I)' DE ELEMENTO DE NUEVE NUDOS
C
      K=0
      DO 50 J=1,3
      K=K+1
      LM(K)=ID(I1,J+2)
      LM(K+3)=ID(J1,J+2)
      LM(K+6)=ID(K1,J+2)
      LM(K+9)=ID(L1,J+2)
      LM(K+12)=ID(I2,J+2)
      LM(K+15)=ID(J2,J+2)
      LM(K+18)=ID(K2,J+2)
      LM(K+21)=ID(L2,J+2)
      LM(K+24)=ID(I3,J+2)
50    CONTINUE
      END IF
C
C LLAMA A 'CALBAN' DONDE CALCULA EL ANCHO DE SIMI-BANDA
C DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL,
C DONDE GRABA LA MATRIZ DE RIGIDEZ EN EL SISTEMA GLOBAL: S EN FILE 1
C
      CALL CALBAN (ND,LM,S,MBAND)

600 CONTINUE

      RETURN
300 FORMAT(8(2X,E12.5))
310 FORMAT(5X, 'TIPO DE ELEMENTO(1=LINEAL,2=CUADRATICO)=',I2)
320 FORMAT(/,5X,'NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD POR NUDO  =',I3/)
330 FORMAT(5X,'PROPIEDADES DEL MATERIAL: ',///,10X,'MODULO,E1=',E12.5,/
1,10X,'MODULO,E2=',E12.5,/,10X,'MODULO DE CORTE G12=',E12.5,/,10X,
2'MODULO DE CORTE G13=',E12.5,/,10X,'MODULO DE CORTE G23=',E12.5
3,/,10X,'MODULO DE POISSON,NU12=',E12.5,/,10X,'MODULO DE CORRECCIO
4N POR CORTE,K=',E12.5,/,10X,'ESPESOR DE LA PLACA,H=',E12.5)
360 FORMAT(/,5X'MATRIZ DE CONECTIVIDAD BOOLEANA',/)
380 FORMAT(/,5X,'MATRIZ DE RIGIDEZ DE ELEMENTO',/)
900 FORMAT(A10)
990 FORMAT(A80)
1999 FORMAT(/)
2000 FORMAT(5X, 'NUMERO DE ELEMENTOS DEL TIPO LOSA  =',I3,/)
2001 FORMAT(1X,10I5,/)
      END

*
      SUBROUTINE CALBAN(ND,LM,S,MBAND)
C
C CALBAN ES INVOCADA POR SUBR. LOSA
C CALCULO DEL ANCHO DE BANDA (MBAND) DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL
C GRABACION DE MATRIZ DE RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS EN FILE 1

```

```

C
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION LM(ND),S(27,27)

C
C  CALCULO DEL ANCHO DE BANDA
C

  DO 450 I=1,ND
    IF(LM(I).GT.0) THEN
      DO 440 J=1,ND
        IF (LM(J).GT.0) THEN
          MAX=IABS(LM(I)-LM(J))+1
          IF(MAX.GT.MBAND) MBAND=MAX
        ENDIF
440    CONTINUE
      ENDIF
450  CONTINUE

C
C  GRABACION DE MATRIZ 'S(I,J)' EN FILE 1
C
  WRITE(1)ND,(LM(I),I=1,ND),((S(I,J),J=1,ND),I=1,ND)

  RETURN
  END

*
  SUBROUTINE ELMASA(ITYPE,NUMTBA)

C
C  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C  COMMON/ELPAR/X(30),Y(30),Z(30),ID(30,6),
C 1      NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM

C
C  CALCULO DE MATRICES DE MASAS DE LOS ELEMENTOS:
C  TIPO 1: ARMADURA          (USO DE SBR..)
C  TIPO 2: PORTICO PLANO     (USO DE SBR...)
C  TIPO 3: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR...)
C  TIPO 4: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR LOSMASA)
C
  MYTPE=ITYPE
  GO TO(1,2,3,4),MYTPE

C
C  ELEMENTOS TIPO ARMADURA(PLANA O ESPACIAL)
C

```

```

1 CONTINUE
C
C ELEMENTOS TIPO PORTICO PLANO (EN PLANO X-Y)
C
2 CONTINUE

C
C ELEMENTOS TIPO VIGA
C

3 CONTINUE
C
C ELEMENTOS TIPO LOSAS CON CARGA TRANSVERSAL LLAMA A LA
C SUBROUTINA 'LOSMASA(NUMTBA)' PARA CALCULAR LA MATRIZ
C DE MASAS
C

4 CALL LOSMASA(NUMTBA)

900 RETURN
END

*
SUBROUTINE CELEMN(IEL,NX,NY,NPE,NNM,NEM)

C
C GENERA LA CONECTIVIDAD DE LOS NUDOS NOD(N,I)
C PARA LOS ELEMENTOS CUADRILATEROS DE 4,8 Y 9 NUDOS
C

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON /CELM/ NOD(200,9)

C
C NX Y NY =# DE ELEMENTOS EN LA DIRECCION X E Y RESPECTIVAMENTE
C

NEX1=NX+1
NEY1=NY+1
NXX=IEL*NX
NYY=IEL*NY
NXX1=NXX+1
NYY1=NYY+1
NEM=NX*NY
NNM=NXX1*NYY1-(IEL-1)*NX*NY

IF(NPE.EQ.9)NNM=NXX1*NYY1

K0=0

```

```

IF(NPE.EQ.9) K0=1

C
C GENERACION DE ARREGLO DE NOD(I,J)
C
      NOD(1,1)01
      NOD(1,2)=IEL+1
      NOD(1,3)=NXX1+(IEL-1)*NEX1+IEL+1

IF(NPE.EQ.9) NOD(1,3)=4*NX+5
      NOD(1,4)=NOD(1,3).IEL

      IF(NPE.GT.4) THEN
        NOD(1,5)=2
        NOD(1,6)=NXX1+(NPE-6)
        NOD(1,7)=NOD(1,3)-1
        NOD(1,8)=NXX1+1

        IF(NPE.EQ.9) THEN
          NOD(1,9)=NXX1+2
        ENDIF
      ENDIF

IF(NY.GT.1) THEN
      M=1
      DO 220 N=2,NY
        L=(N-1)*NX+1
        DO 210 I=1,NPE
210      NOD(L,I)=NOD(M,I)+NXX1+(IEL-1)*NEX1+K0*NX
220      M=L
      IF(NX.GT.1) THEN
        DO 260 NI=2,NX
          DO 240 I=1,NPE
            K1=IEL

            IF(I.EQ.6.OR.IEQ.8) K1=1+K0
240      NOD(NI,I)=NOD(NI-1,I)+K1

            M=NI

            DO 260 NJ=2,NY
              L=(NJ-1)*NX+NI
              DO 250 J=1,NPE
250      NOD(L,J)=NOD(M,J)+NXX1+(IEL-1)*NEX1+K0*NX

260      M=L

      ENDIF
ENDIF
RETURN
END

```

```

*
SUBROUTINE FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
C
C EVALUA LAS FUNCIONES DE FORMA O DE INTERPOLACION
C PARA ELEMENTOS CUADRILATEROS ISOPARAMETRICOS
C DE 4, 8 Y 9 NUDOS
C XP,YP SON LAS COORDENADAS NATURALES DEL ELEMENTO
C SF(I) SON LAS FUNCIONES DE FORMA EN COORDENADAS NATURALES
C DSF(1,I)
C
C
C
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/CELM/NOD(200,9)
DIMENSION XNODE(9,2),NP(9),DSF(2,9),GJ(2,2),GJINV(2,2)
DIMENSION SF(99,GDSF(2,9),ELXY(9,2)

DATA XNODE/-1.0D0,2*1.0D0,-1.0D0,0.0D0,1.0D0,0.0D0,-1.0D0,0.0D0,
2          2*-1.0D0,2*1.0D0,-1.0D0,0.0D0,1.0D0,2*0.0D0/

DATA NP/1,2,3,4,5,6,7,6,8,9/
C
FNC(A,B)=A*B

IF(NPE-8) 60,10,80

C
C FUNCION DE INTERPOLACION CUADRATICA (PARA ELEMENTOS DE OCHO
NODOS)
C
10 DO 40 I=1,NPE
NI=NP(I)
XP=XNODE(NI,1)
YP=XNODE(NI,2)
XI0=1.0+XI*XP
ETA0=1.0+ETA*YP
XI1=1.0-XI*XI
ETA1=1.0-ETA*ETA
IF(I.GT.4) GOTO 20
SF(NI)=0.25*FNC(XI0,ETA0)*(XI*XP+ETA*YP-1.0)
DSF(1,NI)=0.25*FNC(ETA0,XP)*(2.0*XI*XP+ETA*YP)
DSF(2,NI)=0.25*FNC(XI0,YP)*(2.0*ETA*YP+XI*XP)
GO TO 40

20 IF(I.GT.6) GOTO 30
SF(NI)=0.5*FNC(XI1,ETA0)
DSF(1,NI)=-FNC(XI,ETA0)
DSF(2,NI)=0.5*FNC(YP,XI1)
GO TO 40

```

```

30 SF(NI)=0.5*FNC(ETA1,XI0)
   DSF(1,NI)=0.5*FNC(XP,ETA1)
   DSF(2,NI)=-FNC(ETA,XI0)

40 CONTINUE
   GO TO 130

C
C  FUNCION DE INTERPOLACION LINEAL (PARA ELEMENTO DE CUATRO NODOS)
C

60 DO 70 I=1,NPE
   XP=XNODE(I,1)
   YP=XNODE(I,2)
   XI0=1.0+XI*XP
   ETA0=1.0+ETA*YP
   SF(I)=0.25*FNC(XI0,ETA0)
   DSF(1,I)=0.25*FNC(XP,ETA0)
70  DSF(2,I)=0.25*FNC(YP,XI0)
   GO TO 130

C
C  FUNCION DE INTERPOLACION CUADRATICA (PARA ELEMENTO DE NUEVE
NODOS)
C

80 DO 120 I=1,NPE

   NI=NP(I)
   XP=XNODE(NI,1)
   YP=XNODE(NI,2)
   XI0=1.0+XI*XP
   ETA0=1.0+ETA*YP
   XI1=1.0-XI*XP
   ETA1=1.0-ETA*YP
   XI2=XP*XI
   ETA2=YP*ETA
   IF(I.GT.4) GOTO 90
   SF(NI)=0.25*FNC(XI0,ETA0)*XI2*ETA2
   DSF(1,NI)=0.25*XP*FNC(ETA2,ETA0)*(1.0+2.0*XI2)
   DSF(2,NI)=0.25*YP*FNC(XI2,XI0)*(1.0+2.0*ETA2)
   GOTO 120
90  IF(I.GT.6) GOTO 100
   SF(NI)=0.5*FNC(XI1,ETA0)*ETA2
   DSF(1,NI)=-XI*FNC(ETA2,ETA0)
   DSF(2,NI)=0.5*FNC(XI1,YP)*(1.0+2.0*ETA2)

```

```

      GOTO 120
100  IF(I.GT.8) GOTO 110
      SF(NI)=0.5*FNC(ETA1,XI0)*XI2
      DSF(2,NI)=-ETA*FNC(XI2,XI0)
      DSF(1,NI)=0.5*FNC(ETA1,XP)*(1.0+2.0*XI2)
      GO TO 120
110  SF(NI)=FNC(XI1,ET1)
      DSF(1,NI)=-2.0*XI*ETA1
      DSF(2,NI)=-2.0*ETA*XII
120  CONTINUE
130  DO 140 I=1,2
      DO 140 J=1,2
      GJ(I,J)=0.0
      DO 140 K=1,NPE
140  GJ(I,J)=GJ(I,J)+DSF(I,K)*ELXY(K,J)
      DET=GJ(1,1)*GJ(2,2)-GJ(1,2)*GJ(2,1)
      GJINV(1,1)=GJ(2,2)/DET
      GJINV(2,2)=GJ(1,1)/DET
      GJINV(1,2)=-GJ(1,2)/DET
      GJINV(2,1)=-GJ(2,1)/DET

      DO 150 I=1,2
      DO 150 J=1,NPE
      GDSF(I,J)=0.0
      DO 150 K=1,2
150  GDSF(I,J)=GDSF(I,J)+GJINV(I,K)*DSF(K,J)
      RETURN
      END
*
      SUBROUTINE LOSMASA(NUMTBA)
C
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON/ELPAR/X8200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1      NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
      COMMON/CELM/NOD(200,9)
      COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
      COMMON/TIME1/NTIME,NSTP,NOZERO,ALFA,DT,RHO
      COMMON/TIME2/A0,A1,A2,A3,A4,C1,C2
      COMMON/GF012/GF0(200),GF1(200),GF2(200)
      DIMENSION ELXY(9,2),H(27,27)
      DIMENSION GAUSS(4,4),WT(4,4),SF(9),GDSF(2,9)
      CHARACTER*80 TITULO
      CHARACTER*10 ASTER

      DATA GAUSS/4*0.0D0,-.57735027D0,.57735027D0,2*0.0D0,-.77459667D0,
      *0.0D0,.77459667D0,0.0D0,-.86113631D0,
      *-.33998104D0,.33998104D0,.8611361D0/

```

```
DATA WT/2.0D0,3*0.0D0,2*1.0D0,2*0.0D0,.5555555D0,.8888888D0,
*.5555555D0,0.0D0,.34785485D0,2*.65214515D0,.34785485D0/
DATA NDF/3/
```

```
REWIND 7
```

```
NEM=NUMTBA
```

```
C
```

```
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
```

```
C
```

```
    READ (5,900) ASTER
```

```
    READ (5,990) TITULO
```

```
C
```

```
C NTIME=NUMERO DE ETAPAS DE TIEMPO EN EL ANALISIS TRASIENTE
```

```
C NSTP=NUMERO DE ETAPAS EN LA CUAL ES REMOVIDO LA CARGA
```

```
C NOZERO=INDICADOR DE LAS CONDICIONES INICIALES EN EL ANALISIS
```

```
C     TRASIENTE (NOZERO=0) O (NOZERO=1,EXISTE DESPLAZAMIENTOS,
```

```
C     VELOCIDADES Y ACELERACIONES)
```

```
C DT  = INCREMENTO DE TIEMPO EN EL ANALISIS TRASIENTE
```

```
C ALFA = PARAMETRO EN LA ESQUEMA DE NEWMARK
```

```
C RHO  = DENSIDAD DEL MATERIAL
```

```
C
```

```
    READ(5,*) NTIME,NSTP,NOZERO,DT,ALFA,RHO
```

```
    WRITE(6,1000) NTIME,NSTP,NOZERO,DT,ALFA,RHO
```

```
    IF (NOZERO.EQ.1) THEN
```

```
        READ(5,*) (GF0(I),I=1,NEQ)
```

```
        READ(5,*) (GF1(I),I=1,NEQ)
```

```
    ELSE
```

```
C
```

```
C LEE LOS DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y ACELERACIONES INICIALES
```

```
C
```

```
        DO 100 I=1,NEQ
```

```
            GF0(I)=0.0
```

```
            GF1(I)=0.0
```

```
100        GF2(I)=0.0
```

```
        ENDIF
```

```
C
```

```
C GENERACION DE PARAMETROS DE NEWMARK
```

```
C
```

```
C
```

```
    ND=NPE*NDF
```

```
    BETA=0.25*(0.5+ALFA)**2
```

```

DT2=DT*DT
A0=1.0/BETA/DT2
A2=1.0/BETA/DT
A1=ALFA*A2
A3=0.5/BETA-1.0
A4=ALFA/BETA-1.0
TOP=(HA**3)/12.0
C1=RHO*HA
C2=RHO*TOP

DO 600 M=1,NEM
C
C INICIALIZACION LA MATRIZ DE MASAS
C
DO 150 I01,ND
DO 150 J=1,ND
150 H(I,J)=0.0

DO 200 I=1,NPE
NI=NOD(M,I)
ELXY(I,1)=X(NI)
ELXY(I,2)=Y(NI)

200 CONTINUE
NGP=IEL+1
C
C CUADRATURA DE GAUSS
C
DO 500 NI=1,NGP
DO 500 NJ=1,NGP
XI=GAUSS(NI,NGP)
ETA=GAUSS(NJ,NGP)
CALL FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
CNST=DET*WT(NI,NGP)*WT(NJ,NGP)
C
C COEFICIENTES DE LA MATRIZ DE MASAS 'H'
C

II=1
DO 300 I=1,NPE
JJ=1
DO 250 J=1,NPE

H(II,JJ) =H(II,JJ) +C1*SF(I)*SF(J)*CNST

H(II+1,JJ+1)=H(II+1,JJ+1)+C2*SF(I)*SF(J)*CNST
H(II+2,JJ+2)=H(II+2,JJ+2)+C2*SF(I)*SF(J)*CNST

```

```

250  JJ=NDF*J+1

300  II=NDF*I+1

500  CONTINUE

C
C  GUARDA LA MATRIZ DE MASAS DE LOS ELEMENTOS EN EL FILE 7
C
      WRITE(7) ND,((H(I,J),J=1,ND),I=1,ND)

      IF((NPRINT.EQ.1).AND.(M.EQ.1)) THEN

      WRITE(6,700)
      WRITE(6,800)((H(I,J),J=1,ND),I=1,ND)

      ENDIF

600  CONTINUE

      RETURN

900  FORMAT(A10)
990  FORMAT(A80)
800  FORMAT(8(2X,E12.5))
700  FORMAT(/,5X,'MATRIZ DE MASA DE ELEMENTO',/)
1000 FORMAT(/5X,'NUMERO DE ETAPAS DE TIEMPO           NTIME='I4/
$      5X,'PASOS DE TIEMPO DONDE LA CARGA ES REMOVIDO NSTP='I4/
$      5X,'DESPL.,VELC.INICIAL SI(=1),NO(=0)         NOZERO='I4/
$      5X,'INCREMENTO DE TIEMPO                     DY='E10.4/
$      5X,'PARAMETRO EN EL ESQUEMA DE NEWMARK       ALFA='E10.4/
$      5X,'DENSIDAD DEL MATERIAL                     RHO='E10.4/

STOP

END

```

```

*****
*
*   ES INVOCADO POR FRAN3.FOR
*
*****
*
  SUBROUTINE RESPDIN
C
C  CALCULO DE LA RESPUESTA DINAMICA PARA ELEMENTOS:
C  TIPO 1: ARMADURA...(NO ACTIVADO)
C  TIPO 2: PORTICO PLANO...(NO ACTIVADO)
C  TIPO 3: ELEMENTOS FINITOS VIGA...(NO ACTIVADO)
C  TIPO 4: ELEMENTOS FINITOS LOSA
C
C
C  IMPLICIT REAL *8(A-H,0-Z)
C  COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1      NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
C  REWIND 2
C
C  DO 2000 I=1,NELTYP
C
C  READ(2) ITYPO,NUMTBA
C
C  USAR EL ELEMENTO APROPIADO
C  MTYPO :NUMERO DE TIPO DE ELEMENTO
C
C  MTYPE=ITYPO
C
C  GO TO (1,2,3,4),MTYPE
C
C 1 CALL...(NUMTBA)
C
C 1 CONTINUE
C
C 2 CALL...(NUMTBA)
C
C 2 CONTINUE
C
C 3 CALL...(NUMTBA)
C
C 3 CONTINUE
C
C  REALIZA LA RESPUESTA DINAMICA DE LOSAS USANDO METODO DE
C  BETA DE NEWMARK
C
C 4 CALL DINLOSA(NUMTBA)
2000 CONTINUE

```

RETURN
END

SUBROUTINE DINLOSA (NUMTBA)

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)

COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),

1 NUMNP,MBAND,NETYP,NUMLC,NEQ,ITEM

COMMON/TIME1/NTIME,NSTP,NOZERO,ALFA,DT,RHO

COMMON/TIME2/A0,A1,A2,A3,A4,C1,C2

COMMON/DATOS/NPEM,IEL,HA,NPRINT

COMMON/GF012/GF0(200),GF1(200),GF2(200)

COMMON/STIF/S(27,27)

REAL KT(195,70)

DIMENSION D(200),Q(200)

C
C NTIME=NUMERO DE ETAPAS DE TIEMPO EN EL ANALISIS TRASIENTE
C NSTP=NUMERO DE ETAPAS EN LA CUAL ES REMOVIDO LA CARGA
C NOZERO=INDICADOR DE LAS CONDICIONES INICIALES EN EL ANALISIS
C TRASIENTE (NOZERO=0) O (NPZERO=1,EXISTE DESPLAZAMIENTOS,
C VELOCIDADES Y ACELERACIONES)
C DT =INCREMENTO DE TIMEPO EN EL ANALISIS TRASIENTE
C ALFA =PARAMETRO EN LA ESQUEMA DE NEWMARK
C RHO =DENSIDAD DEL MATERIAL

L=1

T=0.0

C
C HALLA LA RESPUESTA DINAMICA POR INTEGRACION NUMERICA
C
C DO 220 NT=1,NTIME

C
C INVOCA A 'CALL DIM2' PARA GENERAR LA MATRIZ DE RIGIDEZ
C EFECTIVA Y EL VECTOR DE CARGAS EFECTIVA

C
C
C CALL DIM2(NT,GF0,GF1,GF2,NUMTBA)

NUMTEL=NUMTBA

C
C ES INVOCADO POR LA SUBRUTINA 'ADDSTF' PARA EL ENSAMBLAJE
C DE LAS RIGIDECES EFECTIVAS DE CADA ELEMENTO EN LA MATRIZ
C DE RIGIDEZ EFECTIVA GLOBAL

C
C CALL ADDSTF(KT,NUMTEL)

```

C TRIANGULARIZA LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

      CALL TRIAN(KT,NEQ,MBAND)
C
C ES INVOCADO POR LA SUBROUTINA 'QDINAM' PARA EL ENSAMBLAJE
C DE LOS VECTORES DE CARGA EFECTIVA EN EL VVECTOR DE CARGA
C GLOBAL
C
      CALL QDINAM(Q,NUMTEL)
      READ(4,REC=L)(Q(I),I=1,NEQ)
C
C RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES
C
      CALL SOLVE(KT,Q,NEQ,MBAND)

C
C ES INVOCADA A LA SUBROUTINA 'ACELER' DONDE SE CALCULA LOS
C NUEVOS DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y ACELERACIONES
C PARA CADA INCREMENTO DE TIEMPO

      CALL ACELER(Q,GF0,GF1,GF2)

      DO 110 I=1,NEQ

110     D(I)=Q(I)

C
C ESCRIBE LOS DESPLAZAMIENTOS EN EL FILE 4
C
      WRITE(4,REC=L)(D(I),I=1,NEQ)

      T=T+DT

      WRITE(6,120)T

C
C IMPRIME LOS DESPLAZAMIENTOS EN CADA INCREMENTO DE TIEMPO
C
      CALL DPRINT
      WRITE(6,122)
220     CONTINUE

      STOP

120     FORMAT(/,5X,'TIEMPO=',E10.3)
122     FORMAT(/,60(' '),/)

      END

```

```

*
SUBROUTINE DIM2(NT,GF0,GF1,GF2,NUMTBA)
C
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1 NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
COMMON/CELM/NOD(200,9)
COMMON/TIME1/NTIME,NSTP,NOZERO,ALFA,DT,RHO
COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
DIMENSION GF0(200),GF1(200),GF2(200)
DIMENSION H(27,27),LM(27,27),S(27,27),ELP(27)

REWIND 1
REWIND 3
REWIND 7
REWIND 8
REWIND 9

NEM=NUMTBA

DO 600 M=1,NEM
C
C LEE DEL FILE 1 EL VECTOR DE LOCALIZACION Y MATRIZ DE RIGIDEZ
C DE ELEMENTO
C
READ(1) ND,(LM(I),I=1,ND),((S(I,J),J=1,ND),I=1,ND)

IF(NT.EQ.NSTP) THEN
C
C INICIALIZA EL VECTOR DE CARGA DE ELEMENTO
C
DO 440 I=1,ND
440 ELP(I)=.0

ELSE
C
C LEE DEL FILE 3 EL VECTOR CARGAS DE ELEMENTO TIPO LOSA
C
READ(3) (ELP(I),I=1,ND)

ENDIF

C
C LEE DEL FILE 7 LA MATRIZ DE MASA DE ELEMENTO TIPO LOSA
C
READ(7),ND,((H(I,J),J=1,ND),I=1,ND)
C
C EN 'CALL ADDIN' SE REALIZA EL ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ
C DE RIGIDEZ EFECTIVA Y EL VECTOR DE CARGA EFECTIVA

```

```

C Y SE ALMACENAN EN EL FILE 7 Y 8 RESPECTIVAMENTE
C
      CALL ADDIN (ND,LM,ELP,S,H,GF0,GF1,GF2)

600  CONTINUE

      RETURN
      END

*
SUBROUTINE ADDIN(ND,LM,ELP,S,H,GF0,GF1,GF2)
C
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/TIME2/A0,A1,A2,A3,A4,C1,C2

DIMENSION H(27,27),S(27,27),ELP(27),LM(27)
DIMENSION W0(27),W1(27),W2(27),GF0(200),GF1(200),GF2(200)
C
C ND=NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD DE CADA ELEMENTO
C
      DO 15 J=1,ND

          N=LM(J)

C
C ASIGNA A LOS DESPLZ., VELOC. Y ACELERACIONES EN WI(J)
C
          IF(N.GE.1) THEN

              W0(J)=GF0(N)
              W1(J)=GF1(N)
              W2(J)=GF2(N)
          ELSE
              W0(J)=0.0
              W1(J)=0.0
              W2(J)=0.0
          ENDIF

15    CONTINUE

C
C CALCULA LA MATRIZ DE RIGIDEZ EFECTIVBA DE CADA ELEMENTO
C
      DO 140 I=1,ND
          DO 140 J=1,ND
140    S(I,J)=S(I,J)+A0*H(I,J)
C

```

```

C CALCULA EL VECTOR DE CARGA EFECTIVA DE CADA ELEMENTO
C
      DO 150 I=1,ND
        DO 150 J=1,ND
150      ELP(I)=ELP(I)+H(I,J)*(A0*W0(J)+A2*W1(J)+A3*W2(J))

C
C ALMACENA LA MATRIZ DE RIGIDEZ EFECTIVA Y DE CARGA EN LOS
C FILES 7 Y 8 RESPECTIVAMENTE
C
      WRITE(8) ND,(LM(I),I=1,ND),((S(I,J),J=1,ND),I=1,ND)
      WRITE(9) (ELP(I),I=1,ND)

      RETURN
      END

*
SUBROUTINE QDINAM(Q,NUMTEL)

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1      NUMNP,MBAND,NELTYP,NEQ,ITEM
COMMON/CELM/NOD(200,9)
COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
DIMENSION LM(27),ELMP(27)
DIMENSION Q(200)

REWIND 8
REWIND 9

NEM=NUMTEL

      DO 600 LL=1,NUMLC
C
C INICIALIZACION DEL VECTOR DE CARGAS GLOBAL
C
      DO 500 M=1,NEQ
500      Q(M)=0.0

C
C ENSAMBLA EL VECTOR DE CARGA DE ELEMENTO 'ELMP(I)'
C AL VECTOR DE CARGA GLOBAL 'Q(I)'
C
      DO 270 II=1,NEM

        READ(8) ND,(LM(I),I=1,ND)
        READ(9) (ELMP(I),ND)

```

```

DO 200 J=1,ND
  N=LM(J)
  IF(N.GT.0) THEN
    Q(N)=Q(N)+ELMP(J)
  ENDIF
200  CONTINUE
270  CONTINUE

C
C ESCRIBE EL VECTOR DE CARGA GLOBAL DINAMICO EN EL FILE 4
C
  WRITE(4,REC=LL)(Q(I),I=1,NEQ)

600  CONTINUE

  RETURN
  END
*
SUBROUTINE ACELER(Q,GF0,GF1,GF2)

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),

1      NUMNP,MBAND,NELTYP,MUNLC,NEQ,ITEM
COMMON/TIME1/NTIME,NSTP,NOZERO,ALFA,DT,RHO
COMMON/TIME2/A0,A1,A2,A3,A4,C1,C2
DIMENSION GF0(200),GF1(200),GF2(200)
DIMENSION Q(200)

C
C CALCULA LOS NUEVOS DESPLAZAMIENTOS, VELOCIDADES Y
C ACELERACIONES PARA CADA INCREMENTO DE TIEMPO
C
  DO 170 I=1,NEQ
    GF0(I)=A0*(Q(I)-GF0(I))-A2*GF1(I)-A3*GF2(I)
    GF1(I)=GF1(I)+DT*(1.0-ALFA)*GF2(I)+DT*ALFA*GF0(I)
    GF2(I)=GF0(I)
170  GF0(I)=Q(I)

  RETURN
  END

```

```

*****
*
* SUBROUTINAS QUE SON INVOCADOS POR FRAN3.FOR Y
*          FRAN4.FOR          FECHA:18\08\2010
*****
*
SUBROUTINE CARGAS

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1          NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM

DIMENSION Q(200),Q18200),Q2(200)
CHARACTER*80 TITULO
CHARACTER*10 ASTER

C
C CALCULO DEL VECTOR DE CARGAS
C *****

C
C INICIALIZACION DEL VECTOR DE CARGAS
C
      DO 500 I=1,NEQ
          Q1(I)=0.0
          Q2(I)=0.0
500      Q(I)=0.0

      DO 3000 LL=1,NUMLC

C
C LECTURA DE COMENTARIOS EN LA ENTRADA DE DATOS
C
          READ(5,900) ASTER
          READ(5,990) TITULO

C
C NUTCAR=NUMERO DIFERENTE DE CARGAS EN LOS ELEMENTOS DEL
C          ESTADO DE CARGA
C NUTCAR=1 CARGA CONCENTRADA EN LOS NUDOS
C          2 CARGA REPARTIDA EN LOS ELEMENTOS
C          3 CARGA CONCENTRADA Y REPARTIDA

          READ(5,*) NUTCAR

C LECTURA DE COMENTARIO EN LA ENTRADA DE DATOS

          READ(5,900) ASTER
          IF(NUTCAR-2) 60,10,80

```

```

C
C LA LECTURA DE DATOS DE CARGA CONCENTRADA EN LOS NUDOS,
C REALIZA 'CALL FORMLD'
C
60      CALL FORMLD(Q1)

          GO TO 300

C
C LA LECTURA DE DATOS DE CARGA
C GENERACION AUTOMATICA DE CARGAS EN
C ELEMENTOS LO REALIZA 'CALL FELEM'
C
10      CALL FELEM(Q2)

          GO TO 300

C
C LA LECTURA DE DATOS DE CARGA CONCENTRADA EN LOS NUDOS
C REALIZA 'CALL FORMLD'+GENERACION AUTOMATICA DE CARGAS
C REALIZA EN 'CALL FELEM'
C
80      CALL FORMLD(Q1)

C LECTURA DE COMENTARIO EN LA ENTRADA DE DATOS

          READ(5,900) ASTER
          CALL FELEM(Q2)

300     CONTINUE

C
C ALMACENA EL VECTOR DE CARGAS GLOBAL EN EL FILE 4 DE
C                                     ACCESO DIRECTO
C
          DO 2000 I=1,NEQ

2000    Q(I)=Q(I)+Q1(I)+Q2(I)

          WRITE(4,REC=LL)(Q(I),I=1,NEQ)

3000   CONTINUE

          RETURN

900    FORMAT(A10)

```

```

990  FORMAT(A80)
      END
*
      SUBROUTINE FORMLD(Q1)

C
C  LECTURA DE CARGAS EN LOS NUDOS;
C  FORMACION DEL VECTOR DE CARGAS Q(NEQ) PARA CADA CASO DE CARGA
C  CADA VECTOR DE CARGA SE GRABA EN FILE 4
C
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1          NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
      DIMENSION RR(200,6),NN(200),Q1(200)
      CHARACTER*80 TITU

          DO 3000 LL=1,NUMLC

              READ(5,1001)TITU

C  LEE:NNC=NUMERO DE NUDOS CARGADOS C

              READ(5,*) NNC

C
C  PARA CADA NUDO CARGADO "NN(L)", SE LEEN LAS CARGAS APLICADAS
C  RR(L,I), SOLO SE ASIGNAN LAS CARGAS SI ESTAN APLICADAS EN LA
C  DIRECCION DE UN GRADO DE LIBERTAD.
C

          DO 250 L=1,NNC

              READ(5,*) NN(L),(RR(L,I),I=1,6)
              NNN=NN(L)

              DO 200 I=1,6
                  II=ID(NNN,I)
                  IF(II.GT.0)Q1(II)=RR(L,I)
200          CONTINUE

250      CONTINUE

C
C  ESCRIBE EL NRO. CASO DE CARGA Y COMENTARIOS
C
              WRITE(6,2001) LL,(TITU)

              WRITE(6,2002)

```

```
C
C ESCRIBE EL NUDO CARGADO Y LAS CARGAS EN DICHO NUDO
C
```

```
DO 2200 L=1,NNC
2200 WRITE(6,2001) NN(L),(RR(L,I),I=1,3)
WRITE(6,2001) LL,(TITU)
```

```
WRITE(6,3001)
```

```
DO 2250 L=1,NNC
2250 WRITE(6,2000) NN(L), (RR(L,I),I=4,6)
WRITE(6,4000)
```

```
3000 CONTINUE
```

```
RETURN
1001 FORMAT(A80)
2000 FORMAT(1X,I4,5X,3F15.3)
2001 FORMAT(///,1X,'CASO DE CARGA ',I3,': '//1X,A80//
$ 1X,'CARGAS EN LOS NUDOS'/)
2002 FORMAT('/'NUDO',15X,'F(X)',11X,'F(Y)',11X,'F(Z)')//)
3001 FORMAT('/'NUDO',15X,'M(X)',11X,'M(Y)',11X,'M(Z)')//)
4000 FORMAT(//)
END
```

```
*
```

```
SUBROUTINE FELEM(Q2)
```

```
C
C CALCULO DE VECTORES FUERZA EN LOS ELEMENTOS:
C TIPO 1: ARMADURA (USO DE SBR...)
C TIPO 2: PORTICO PLANO (USO DE SBR...)
C TIPO 3: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR...)
C TIPO 4: ELEMENTOS FINITOS(USO DE SBR VFLOSA)
C
```

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1 NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
DIMENSION Q2(200)
```

```
REWIND 2
READ(2) ITYPO,NUMTBA
```

```
C
C USAR EL ELEMENTO APROPIADO
C MTYPE=ITYPO:NUMERO DE TIPO DE ELEMENTO
C
```

```

        MTYPE=ITYPO

        GO TO (1,2,3,4),MTYPE
C
C   ELEMENTOS TIPO ARMADURA (PLANA O ESPACIAL)
C
C 1 CALL...(NUMTBA)
C   GO TO 900
C
C   1 CONTINUE
C
C   ELEMENTOS TIPO PORTICO PLANO (EN PLANO X-Y)
C
C 2 CALL...(NUMTBA)
C   GO TO 900
C
C   2 CONTINUE
C
C 3 CALL...(NUMTBA)
C   GO TO 900
C
C   3 CONTINUE
C
C   ELEMENTOS TIPO LOSAS CON CARGA TRANSVERSAL
C   LLAMA A LA SUBROUTINA VFLOSA PARA EL CALCULO DEL VECTOR FUERZA
C
C 4 CALL VCARGA(Q2,NUMTBA)

        RETURN

        END

*
        SUBROUTINE VCARGA(Q2,NUMTBA)
C
C GENERACION AUTOMATICA DE CARGAS EN ELEMENTOS
C
        IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
        COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1          NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
        COMMON/CELM/NOD(200,9)
        COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
        CHARACTER*80 TITU
        DIMENSION ELP(50,27),LM(27),ELXY(9,2),NN(64),MM(64),ELMP(50)
        DIMENSION GAUSS(4,4),WT(4,4),SF(9),GDSF(2,9)
        DIMENSION Q2(200)

```

```
DATA GAUSS/4*0.0D0,-.57735027D0,.57735027D0,2*0.0D0,-.77459667D0,  
*0.0D0,.77459667D0,0.0D0,-.86113631D0,  
*-.33998104D0,.33998104D0,.86113631D0/
```

```
DATA WT/2.0D0,3*0.0D0,2*1.0D0,2*0.0D0,.55555555D0,.88888888D0,  
*.55555555D0,0.0D0,.34785485D0,2*.65214515D0,.34785485D0/  
DATA NDF/3/
```

```
REWIND 1  
REWIND 3  
NEM=NUMTBA  
ND=NPE*NDF
```

```
C  
C INICIALIZACION DEL VECTOR DE CARGAS REPARTIDAS DE ELEMENTO  
C ELP(M,I)=VECTOR DE CARGAS LOCAL  
C
```

```
DO 1550 I=1,NEM  
DO 1550 J=1,ND  
1550 ELP(I,J)=0.0  
C
```

```
C LEE Y ESCRIBE: TITULO DE LAS CARGAS EN LOS ELEMENTOS TIPO  
C LOSA  
C
```

```
READ(5,1001) TITU  
WRITE(6,1001)TITU
```

```
C  
C LEE Y ESCRIBE:  
C NETC=NUMERO DE VECES QUE SE GENERA LA CARGA  
C REPARTIDA  
C
```

```
READ(5,*) NETC
```

```
WRITE(6,1002)NETC  
WRITE(6,4000)
```

```
DO 1000 JJ=1,NETC
```

```
C  
C LEE Y ESCRIBE: # ELEM.INIC.,INCREMENTO, #ELEM.FINAL, CARGA  
C REPARTIDA  
C
```

```
READ(5,*)NN(JJ),IN,MM(JJ),PO
```

```
WRITE(6,1003)NN(JJ),IN,MM(JJ),PO
```

```
C  
IF(MM(JJ).GT.NN(JJ)) THEN
```

```

DO 900 KK=NN(JJ),MM(JJ),IN
      DO 800 I=1,NPE
            NI=NOD(KK,I)
            ELXY(I,1)=X(NI)
800      ELXY(I,2)=Y(NI)
            NGP=IEL+1
            LGP=IEL
C
C GENERA EL VECTOR DE CARGAS DE LOS ELEMENTOS CARGADOS
C
      DO 600 NI=1,NGP
            DO 600 NJ=1,NGP
                  XI=GAUSS(NI,NGP)
                  ETA=GAUSS(NJ,NGP)
                  CALL FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
                  CNST=DET*WT(NI,NGP)*WT(NJ,NGP)
            DO 600 I=1,NPE
                  L=(I-1)*NDF+1
                  ELP(KK,L)=ELP(KK,L)+CNST*SF(I)*PO
600      CONTINUE
900      CONTINUE
      ENDIF
1000     CONTINUE
      DO 400 II=1,NEM
            DO 300 I=1,ND
                  ELMP(I)=ELP(II,I)
300      CONTINUE
C
C GUARDA EL VECTOR DE CARGAS DE TODO LOS ELEMENTOS TIPO LOSA
C EN EL FILE 3 'ELMP(I),I=1,ND'
C
      WRITE(3) (ELMP(I),I=1,ND)
      READ(1) ND,(LM(I),I=1,ND)
C
C ENSAMBLA EL VECTOR DE CARGAS LOCALES AL VEC. CARGA GLOBAL
C
      DO 200 J=1,ND
            N=LM(J)
            IF(N.GT.0)THEN
                  Q2(N)=Q2(N)+ELP(II,J)
            ENDIF
200      CONTINUE
400      CONTINUE
WRITE(6,5000)

```

```

        RETURN
1001  FORMAT(A80)
1002  FORMAT(/,IX,'NUMERO DE VECES QUE SE GENERA W=',I3/)
4000  FORMAT(1X,'ELEMENTO INIC. INCREM. ELEMENTO FINAL W'/)
1003  FORMAT(1X,3(5X,I5),5X,E10.4)
5000  FORMAT(/)
      END
*
      SUBROUTINE ADDSTF(KT,NUMTEL)
C
C  ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL EN FORMA SEMIBANDEADA
C  A (NUMERO DE ECUACIONES, ANCHO DE BANDA)
C
      IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
      COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1      NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
      DIMENSION S(27,27),LM(27)
      REAL KT(200,70)
C
C  INICIALIZA LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL
C
      DO 100 N=1,NEQ
        DO 100 M=1,MBAND
100      KT(N,M)=0.0
C
C  LEE RIGIDECES DE ELEMENTOS DEL ARCHIVO 1 Y SUMA A RIGIDEZ TOTAL
C  LEE RIGIDECES DE ELEMENTOS DEL ARCHIVO 8 Y SUMA A RIGIDEZ
C  TOTAL SI EL ANALISIS ES DINAMICO
C
      REWIND 1
      REWIND 8
C
      DO 400 L=1,NUMTEL
C
C  LEE DEL FILE 1:
C  ND=NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD DE CADA ELEMENTO
C  LM=VECTOR DE LOCALIZACION
C
      IF(ITEM.EQ.0) THEN
        READ(1)ND,(LM(I),I=1,ND),((S(I,J),J=1,ND),I=1,ND)
      ELSE
        READ(8) ND,(LM(I),I=1,ND),((S(I,J),J=1,ND),I=1,ND)
      ENDIF
C
      DO 300 I=1,ND
        N=LM(I)
        IF(N.GT.0) THEN

```

```

                DO 200 J=1,ND
                    M=LM(J)-N+1
                    IF(M.GT.0) KT(N,M)=KT(N,M)+S(I,J)
200             CONTINUE
                ENDIF
300             CONTINUE

400             CONTINUE
                RETURN
                END
*
                SUBROUTINE TRIAN(KT,NEQ,MBAND)
C
C             RESOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES POR EL METODO DE GAUSS,
C             TRIANGULIZACION DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ TOTAL
C
C             NN=NUMERO DE ECUACIONES
C             MM=NUMERO DE ANCHO DE BANDA
C
                IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
                REAL KT(200,70)
                DO 300 N=1,NEQ
                    DO 200 L=2,MBAND
                        C=KT(N,L)/KT(N,1)
                        I=N+L-1
                        IF(NEQ.GE.I) THEN
                            J=0
                            DO 100 K=L,MBAND
                                J=J+1
                                KT(I,J)=KT(I,J)-C*KT(N,K)
100                     CONTINUE
                                KT(N,L)=C
                            ENDIF
200                     CONTINUE
300                     CONTINUE
                RETURN
                END
*
                SUBROUTINE SOLVE(KT,Q,NEQ,MBAND)
C
C             OPERACIONES DE TRIANGULIZACION CON LOS VECTORES DE CARGA
C             LAS SOLUCIONES (DESPLAZAMIENTOS). SE CALCULAN POR SUSTITUCION
C             INVERSA Y SE GUARDAN EN EL MISMO VECTOR.
C
                IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
                REAL KT(200,70)
                DIMENSION Q(200)

```

```

DO 200 N=1,NEQ
  DO 100 L=2,MBAND
    I=N+L-1
    IF(NEQ.LT.1) GO TO 200
    Q(I)=Q(I)-KT(N,L)*Q(N)
100  CONTINUE
200  Q(N)=Q(N)/KT(N,1)
C
C  SUSTITUCION INVERSA
C
NM=NEQ-1
DO 400 N=NM,1,-1
  DO 300 K=2,MBAND
    L=N+K-1
    IF(L.LE.NEQ) Q(N)=Q(N)-KT(N,K)*Q(L)
300  CONTINUE
400  CONTINUE
RETURN
END
*
SUBROUTINE DPRINT
C
C  IMPRESIUN DE LOS DESLAZAMIENTOS DE TODOS LOS NUDOS PARA
C  CADA CASO DE CARGA
C
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1  NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
DIMENSION D(200),DD(6)

DO 3200 L=1,NUMLC
C
C  LEE DESPLAZAMIENTOS DEL FILE 4 PARA IMPRIMIRLOS
C
READ(4,REC=L)(D(I),I=1,NEQ)
WRITE(6,2000) L
C
C  IMPRIME LOS DESPLAZAMIENTOS LINEALES
C
DO 200 N=1,NUMNP
  DO 100 I=1,3
    DD(I)=0.0
    II=ID(N,I)
    IF(II.GT.0) DD(I)=D(II)
100  CONTINUE
200  WRITE(6,2001) N,(DD(I),I=1,3)

```

```

        WRITE(6,3000) L
C
C IMPRIME LOS DESPLAZAMIENTOS ANGULARES
C
        DO 400 N=1,NUMNP
            DO 300 I=4,6
                DD(I)=0.0
                II=ID(N,I)
                IF(II.GT.0) DD(I)=D(II)
300        CONTINUE
400        WRITE(6,2001) N,(DD(I),I=4,6)

32000CONTINUE

        RETURN
2000    FORMAT(///,1X,'CASO DE CARGA',I3,':',10X,'DESPLAZAMIENTOS'//
$           1X,'NUDO',6X,'DESP.X',6X,'DESP.Y',6X,'DESP.Z'/)
2001    FORMAT(1X,I4,4X,1P3E12.5)
3000    FORMAT(/,1X,'CASO DE CARGA',I3,':',10X,'DESPLAZAMIENTOS'//
$           1X,'NUDO',6X,'GIRO X',6X,'GIRO Y',6X,'GIRO Z'/)
        END
*
        SUBROUTINE ELFOR
C
C CALCULO DE FUERZAS FINALES EN CADA BARRA SEGÚN EL TIPO
C DEL ELEMENTO, PARA CADA CASO DE CARGA
C
        IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
        COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1         NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
        DIMENSION D(200)

        DO 200 L=1,NUMLC

C        LEE DESPLAZAMIENTOS DEL FILE 4 PARA CADA CASO DE CARGA

                READ(4,REC=L)(D(I),I=1,NEQ)
C        ESCOGER LA SUBROUTINA CORRESPONDIENTE SEGUN EL TIPO DE ELEMENTO

                REWIND 2

        DO 150 M=1,NELTYP

                READ(2)ITYPO,NUMTBA

```

```

        MTYPE=ITYPO
        GO TO(1,2,3,4),MTYPE
C
C LLAMA A LA SUBROUTINA TRUSSF PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS EN ELEMEN-
C TOS TIPO ARMADURA
C
C 1          CALL TRUSSF(D,NUMTBA)
C          GO TO 100
C
C 1  CONTINUE
C
C LLAMA A LA SUBROUTINA FRAMEF PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS TIPO
C PORTICO PLANO
C
C 2          CALL FRAMEF(D,NUMTBA)
C          GO TO 100
C
C 2  CONTINUE
C
C LLAMA A LA SUBROUTINA BEAMF PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS
C EN ELEMENTOS TIPO VIGA
C 3          CALL BEAMF(D,NUMTBA)
C
C          GO TO 100
C
C 3  CONTINUE
C
C LLAMA A LA SUBROUTINA LOSAF PARA EL CALCULO DE ESFUERZOS TIPO LOSA
C
C 4          CALL LOSAF(D,NUMTBA)
C
C 150  CONTINUE
C
C 200  CONTINUE
C
C RETURN
C
C END
C
C *
C SUBROUTINE LOSAF(D,NUMTBA)
C
C
C CALCULO E IMPRESION DE MOMENTOS EN LOS NUDOS DE CADA ELEMENTO
C PARA CADA ESTADO DE CARGA
C USO DE SBR STRESS
C
        IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)

```

```

COMMON/ELPAR/X(200),Y(200),Z(200),ID(200,6),
1          NUMNP,MBAND,NELTYP,NUMLC,NEQ,ITEM
COMMON/CELM/NOD(200,9)
COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
DIMENSION D(200),ELXY(9,2),W(27),LM(27)

REWIND 1

NEM=NUMTBA

WRITE(6,900)

DO 800 MM=1,NEM

READ(1) ND,(LM(I),I=1,ND)

DO 700 J=1,ND

        N=LM(J)

        IF(N.GE.1) THEN
                W(J)=D(N)
        ELSE
                W(J)=0.0
        ENDIF
700    CONTINUE

DO 600 I=1,NPE

        NI=NOD(MM,I)
        ELXY(I,1)=X(NI)
        ELXY(I,2)=Y(NI)

600    CONTINUE

CALL STRESS(ELXY,W)

800    CONTINUE

RETURN
900    FORMAT(//,8X,'X-COORD',5X,'Y-COORD',5X,'SIGMAX',5X,'SIGMAY',5X,
1 'SIGMAXY',5X,'SIGMAXZ',5X,'SIGMAYZ')
END
*
SUBROUTINE STRESS(ELXY,W)
C
C CALCULA ESFUERZOS
C

```

```
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON/DATOS/NPE,IEL,HA,NPRINT
COMMON/MELAST/D(3,3),D44,D55
DIMENSION GAUSS(4,4),SF(9),GDSF(2,9),ELXY(9,2),W(27)
```

C

```
DATA GAUSS/4*0.0D0,-.57735027D0,.57735027D0,2*0.0D0,-.77459667D0,
*0.0D0,.77459667D0,0.0D0,-.86113631D0,
```

```
*-.33998104D0,.33998104D0,.86113631D0/
DATA NDF/3/
```

C

```
H=HA
```

```
NGP=IEL
```

```
DO 400 NI=1,NGP
```

```
DO 400 NJ=1,NGP
```

```
  XI=GAUSS(NI,NGP)
```

```
  ETA=GAUSS(NJ,NGP)
```

```
    CALL FORMA(XI,ETA,DET,NPE,ELXY,SF,GDSF)
```

```
    SIX=0.0
```

```
    SIY=0.0
```

```
    DWX=0.0
```

```
    DWY=0.0
```

```
    DSXY=0.0
```

```
    DSYX=0.0
```

```
    DSXX=0.0
```

```
    DSYY=0.0
```

```
      X=0.0
```

```
      Y=0.0
```

```
DO 200 I=1,NPE
```

```
  L=(I-1)*NDF+1
```

```
  X=X+SF(I)*ELXY(I,1)
```

```
  Y=Y+SF(I)*ELXY(I,2)
```

```
  DWX=DWX+GDSF(1,I)*W(L)
```

```
  DWY=DWY+GDSF(2,I)*W(L)
```

```
  SIX=SIX+SF(I)*W(L+1)
```

```
  SIY=SIY+SF(I)*W(L+2)
```

```
  DSXX=DSXX+GDSF(1,I)*W(L+1)
```

```

DSXY=DSXY+GDSF(2,I)*W(L+1)
DSYX=DSYX+GDSF(1,I)*W(L+2)
200  DSYY=DSYY+GDSF(2,I)*W(L+2)

SGMAX=(D(1,1)*DSXX+D(1,2)*DSYY)
SGMAY=(D(1,2)*DSXX+D(2,2)*DSYY)

SGMXY=D(3,3)*(DSXY+DSYX)
SGMXZ=D44*(DWX+SIX)
SGMYZ=D55*(DWY+SIY)

WRITE(6,350) X,Y,SGMAX,SGMAY,SGMXY,SGMXZ,SGMYZ
400  CONTINUE

350  FORMAT(4X,7E12.4)

RETURN
END
*
```