

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS SHELL63
Y BEAM4 DE ANSYS 5.5 PARA EL MODELAMIENTO DE PANELES NAVALES**

FABIAN SILVA LORA

CARLOS ALBERTO GONZALEZ MENDOZA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE ING. MECANICA, MODELAMIENTO NUMERICO POR**

ELEMENTOS FINITOS,

CARTAGENA

2003

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS SHELL63
Y BEAM4 DE ANSYS 5.5 PARA EL MODELAMIENTO DE PANELES NAVALES**

FABIAN SILVA LORA

CARLOS ALBERTO GONZALEZ MENDOZA

MONOGRAFÍA

DIRECTOR

JAIRO USECHE V., M.Sc., I.M.

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE ING. MECANICA, MODELAMIENTO NUMERICO POR
ELEMENTOS FINITOS**

CARTAGENA

2003

Cartagena de indias, D. T y C., Noviembre del 2003

Señores

Departamento de Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Cartagena de Indias, D.T y C.

Respetados Señores:

Por Solicitud de los estudiantes Fabián Silva Lora y Carlos Alberto González Mendoza, dirigí a satisfacción el proyecto de Monografía titulado: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS SHELL63 Y BEAM4 DE ANSYS 5.5 PARA EL MODELAMIENTO DE PANELES NAVALES”, como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Espero que el contenido y las normas aplicadas cumplan con los requisitos exigidos por esta dirección.

Atentamente,

Jairo Useche V., M.S.c., I.M.

Cartagena de Indias, D. T y C., Noviembre del 2003

Señores

Departamento de Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Cartagena de Indias, D.T y C.

Respetados Señores:

Presento para su consideración el proyecto de Monografía titulado: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS SHELL63 Y BEAM4 DE ANSYS 5.5 PARA EL MODELAMIENTO DE PANELES NAVALES” como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

Fabián Silva Lora

Cartagena de indias, D. T y C., Noviembre del 2003

Señores

Departamento de Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Cartagena de Indias, D.T y C.

Respetados Señores:

Presento para su consideración el proyecto de Monografía titulado: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS SHELL63 Y BEAM4 DE ANSYS 5.5 PARA EL MODELAMIENTO DE PANELES NAVALES” como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

Carlos Alberto González Mendoza

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D.T y C.

Nosotros Fabián Silva Lora y Carlos Alberto González Mendoza, Identificados con las cédulas de ciudadanía número 73'229.998 de San Juan Nep. (Bol.) y 73'156.217 de Cartagena (Bol.), respectivamente. Autorizamos a la corporación Tecnológica de Bolívar para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la biblioteca.

Fabián Silva Lora

Carlos Alberto González Mendoza

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Cartagena de Indias, 7 de Noviembre, 2003

DEDICATORIA

Gracias a Dios por darme la fuerza necesaria para salir adelante, a mis padres por apoyarme en mis deseos de superarme y por su constancia en mi educación tanto personal como profesional. A mi novia por darme su confianza y apoyo para salir adelante.

Carlos Alberto González M.

Agradezco a Dios, padres, familiares y amigos por la ayuda prestada para realizar esta Monografía que sin la ayuda de ellos no hubiera sido posible.

Fabián Silva L.

AGRADECIMIENTOS

Se manifiestan los más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta monografía, que sin su aporte hubiera sido imposible su realización para optar por nuestro título.

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial COTECMAR

Dr. Jairo Useche V., M.Sc., I.M.

Profesor CUTB, Director de la Monografía

Ing. Carlos Mario Cano

Director de Proyectos COTECMAR

Ing. Benjamín Arango

Coordinador del Minor en I.M.

Ing. Enir Rua

Asesor externo

CONTENIDO

	Pagina
INTRODUCCIÓN	20
1. LA CONSTRUCCION NAVAL	21
1.1 ESFUERZOS ESTRUCTURALES LONGITUDINALES	24
1.2 ESFUERZOS ESTRUCTURALES TRANSVERSALES	29
1.3 ESFUERZOS LOCALES	31
2. ACEROS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION NAVAL	33
2.1 ACEROS LAMINADOS EN PLANCHAS Y PERFILES	36
2.2 ACERO FORJADO	41
2.3 ACERO FUNDIDO	41

2.4 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA A LA TRACCION	41
3. PROYECTO DE PANELES NAVALES	42
3.1 ANCHO EFECTIVO DE PLANCHAS	42
3.2 CURVA DE SCHADE	43
4. ELEMENTO UTILIZADOS EN EL PROGRAMA ANSYS PARA MODELAR UN PANEL NAVAL BAJO EL MEF	50
4.1 BEAM4 3D (VIGA ELASTICA)	50
4.1.1 Datos de entrada	51
4.1.2 Datos de salida	52
4.1.3 Suposiciones y restricciones	54
4.2 SHELL63 (CASCARON ELASTICO)	55

4.2.1 Datos de entrada	55
4.2.2 Datos de salida	58
4.2.3 Suposiciones y restricciones	59
5. VALIDACION DEL MODELO DE PANEL NAVAL POR MEF	61
5.1 CARACTERISTICAS DE UN PANEL NAVAL	61
5.2 MODELO MATEMATICO	61
5.3 MODELO COMPUTACIONAL	64
5.4 RESULTADOS Y DISCUSION	66
6. CONCLUSIONES	75
7. ANEXOS	77
8. BIBLIOGRAFIA	88

LISTAS DE TABLAS

	Pagina
Tabla 4.1 Definición de las salidas de los elementos (BEAM4)	46
Tabla 4.2 Definición de las salidas de los elementos (SHELL63)	51

LISTA DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1.1 Dimensiones de un buque	13
Figura 1.2 Esfuerzos del buque en aguas tranquilas	17
Figura 1.3 Esfuerzos por quebranto en olas	19
Figura 1.4 Esfuerzos por arrufo en olas	19
Figura 1.5 Zonas criticas de esfuerzo	21
Figura 1.6 Esfuerzos por la presión hidrostática	22
Figura 1.7 Acción deformante en el balance	22
Figura 2.1 Planchas y perfiles laminados	32
Figura 3.1 Panel	35
Figura 4.1 Beam4 3D (Viga elástica)	43
Figura 4.2 3D Beam4 esfuerzos de salida	45
Figura 4.3 Shell63	48
Figura 4.4 Shell63	50
Figura 5.1 Diagrama de convergencia para elemento Shell63	59
Figura 5.2 Diagrama de convergencia para elementos Beam4 y Shell63	60
Figura 5.3 Esfuerzo principal No. 1	61
Figura 5.4 Esfuerzo principal No. 2	62

Figura 5.5	Esfuerzo principal No. 3	63
Figura 5.6	Esfuerzo de Von Mises	64
Figura 5.7	Esfuerzos en la dirección X para la lamina	65
Figura 5.8	Esfuerzos en la dirección X para los refuerzo	66

LISTA DE ANEXOS

	Pagina
ANEXO A Flecha en el centro	70
ANEXO B Esfuerzo longitudinal en el centro de la plancha	71
ANEXO C Esfuerzo longitudinal en la faldilla vertical de los refuerzos centrales	72
ANEXO D Esfuerzo transversal en el centro de la plancha	73
ANEXO E Esfuerzo transversal en la faldilla vertical del refuerzo central	74
ANEXO F Esfuerzo en los bordes de la plancha	75
ANEXO G Esfuerzo en la faldilla vertical de los refuerzos de contorno	76
ANEXO H Esfuerzo cortante en los extremos de los refuerzos longitudinales	77
ANEXO I Esfuerzo cortante en los extremos de los refuerzos transversales	78

RESUMEN

A continuación se realiza un estudio de dos tipos de elementos para modelar un panel naval y elegir que elemento es el más acertado para modelar por el método de elementos finitos (MEF). Se realiza un análisis de convergencia donde las variables son los esfuerzos transversales y número de elementos, este diagrama dará el número de elementos adecuado para realizar un estudio con mayor precisión del panel, para luego comparar los valores obtenidos computacionalmente con los obtenidos teóricamente y definir el error que presenta el modelo para los distintos elementos empleados.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el desempeño de los elementos SHELL63 y BEAM4 del programa ANSYS 5.5, comparando los resultados de esfuerzos arrojados por dos modelos computacionales con los resultados teóricos, para identificar que elemento permite que un modelo computacional de panel naval se haga lo mas cercano a la realidad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❑ Recopilación de información sobre paneles mediante la ayuda de libros de estructuras navales e Internet para tener una idea mas concreta sobre estos.

- ❑ Idealizar el panel naval llevándolo del modelo físico al modelo computacional por medio del programa ANSYS 5.5 determinado las cargas y las restricciones para así poder modelarlo con los elementos requeridos.

- ❑ Encontrar el valor estable de la solución arrojada por los elementos en el modelo computacional por medio de un análisis de convergencia para compararlo con los valores obtenidos teóricamente y escoger el modelo que mas se acerca a la realidad.

INTRODUCCION

El modelamiento por elementos finitos es una herramienta indispensable para el desarrollo de soluciones en el campo estructural, térmico, fluido y electromagnético, pero aquí nos será de mucha utilidad en el análisis de un panel naval bajo carga.

Los paneles navales son estructuras que hacen parte del casco de las embarcaciones marinas, las cuales están expuestas a distintas condiciones de carga. La finalidad de este estudio es determinar que elemento resulta mejor para nuestro análisis, si enmallando con SHELL63, que es un elemento de lamina o utilizando la combinación de SHELL63 y BEAM4 que es un elemento de viga, que será utilizado para modelar los refuerzos que lleva el panel. Todos estos elementos permiten generar un modelo en 3D.

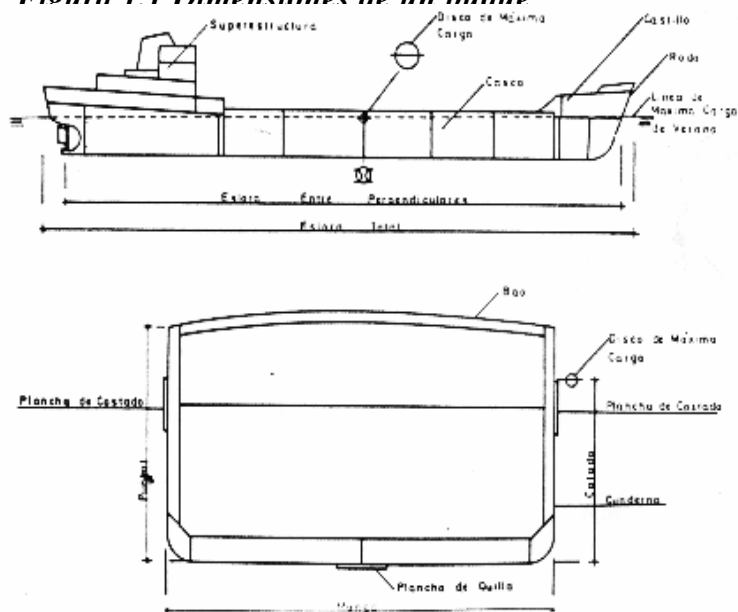
Para analizar un panel naval se tienen que hacer algunas consideraciones dependiendo de que si el panel hace parte de la cubierta o si hace parte de los costados, para el primer caso se consideran su contorno simplemente apoyado y para el segundo empotrado, para nuestro análisis se ha considerado simplemente apoyado debido a que la parte que vamos a analizar hace parte de la cubierta de la embarcación.

1. LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

La Construcción Naval se puede definir como una especialidad de la Arquitectura Naval, en la que se proyecta y construye la estructura del buque.

El buque se puede definir a su vez, como un flotador con la maquinaria necesaria para su propulsión y servicios, y los espacios necesarios para la carga, tripulación y pasaje. Este buque consta esencialmente de una especie de cajón o prisma rectangular estanco al agua, al que exteriormente se le da una forma adecuada para la propulsión y estabilidad, y que recibe el nombre de “CASCO”. Sobre este casco se sitúa la SUPERESTRUCTURA, o bien forma parte del mismo (Fig. 1.1).

Figura 1.1 Dimensiones de un buque



Existen en ciertos países del mundo Sociedades Clasificadoras de Buques, que tienen unos Reglamentos por los cuales se rigen los constructores de todas las Factorías, en lo que respecta a la resistencia del buque, y por tanto, a todos sus elementos estructurales. Modernamente se han extendido al equipo del buque, a la maquinaria, instalaciones frigoríficas, etc., etc.

El escantillado (espesor y dimensiones) de estos elementos, viene calculado en los Reglamentos de las Sociedades Clasificadoras en función de ciertas dimensiones del buque y de su Calado de Verano o Calado en el centro del Disco de Máxima carga.

Las definiciones por las formas del buque son enumeradas de forma precisa, pero en general son las siguientes:

ESLORA (L): El largo medido sobre la Línea de Carga de Verano, desde el canto externo de la Roda hasta la Mecha del Timón.

MANGA (B): La anchura máxima medida por fuera de las Cuadernas, y por dentro, por tanto, de las planchas que forman el costado del buque.

PUNTAL (D): La altura medida verticalmente en la mitad de la eslora del buque (Cuaderna Maestra normalmente), desde la cara interna de la plancha de quilla, hasta el canto superior del Bao de la cubierta más alta corrida, en su intersección con el costado.

CALADO (d): Es el Calado en el Centro del disco de Máxima Carga, o sea, la altura vertical medida en la Cuaderna Maestra, entre la cara interna o superior de la plancha de quilla, y el Centro del disco.

Se respetan las silas usadas para el dimensionado del buque, porque son las utilizadas por las Compañías Clasificadoras, y si bien sus Reglamentos están traducidos, las fórmulas empíricas con las que se calcula el escantillado de los distintos elementos estructurales, son las mismas que en el idioma original.

En general, y mientras específicamente no digamos lo contrario, la expresión casco y buque las usaremos indistintamente en construcción Naval.

Antes de hacer una somera descripción de los elementos estructurales que forman el “CASCO”, hagamos una breve descripción de los “ESFUERZOS”, a que como toda estructura, está sometido el buque, porque conociendo estos esfuerzos, podremos ya justificar desde el principio, el “porqué” ciertos elementos estructurales van así y no de otra forma.

Los “ESFUERZOS” a que está sometido el buque, son debidos a la acción de causas externas e internas, y el casco tiene que estar diseñado y construido para soportarlos con un razonable margen de seguridad.

Estos Esfuerzos son variados en carácter e importancia, pero los podemos reducir a dos grandes grupos: a) Esfuerzos estructurales, longitudinales y transversales (sobre la estructura integral del buque). b) Esfuerzos locales (esfuerzos sobre secciones determinadas del buque).

1.1 ESFUERZOS ESTRUCTURALES LONGITUDINALES

Desde el punto de vista del estudio de su resistencia, el caso puede ser proyectado, como la viga o prisma rectangular de una construcción terrestre, con una diferencia importante; mientras las vigas normales se apoyan en dos o más puntos definidos, el buque lo hace en toda su eslora, ya que es soportado por el agua. En estas condiciones la viga – casco que constituye el buque, está formada por todos aquellos elementos que se extienden de modo continuo de proa a popa, tales como el forro del casco (fondo y costado), las cubiertas, los refuerzos longitudinales de fondo, cubierta y costado, etc., etc., y son llamados elementos longitudinales.

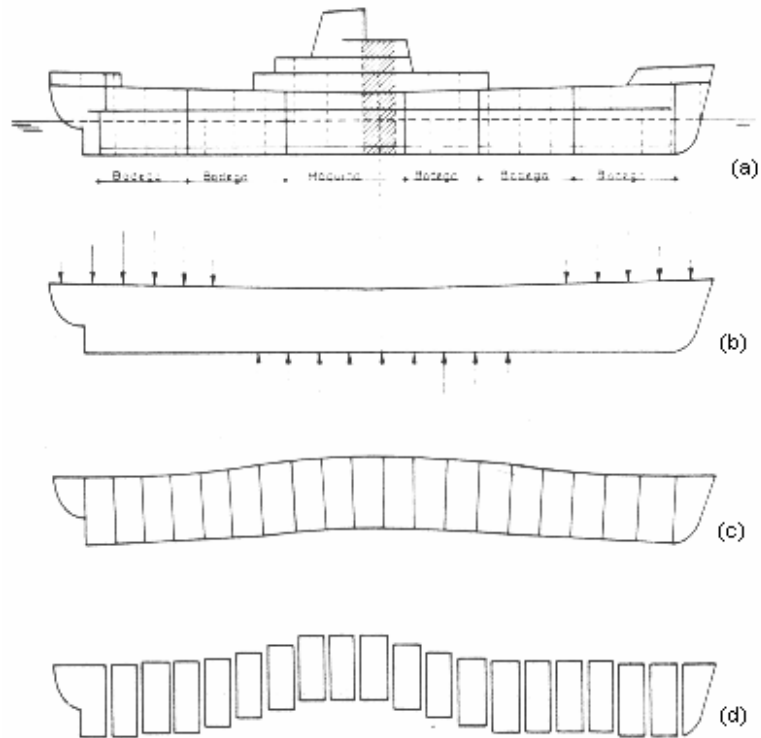
Los elementos transversales de la viga – casco desempeñan la misión de elementos de conexión entre los longitudinales. Tal es el caso de las Cuadernas, Boas, etc., etc.

Si el casco del buque de la Figura 1.2 lo seccionamos, o suponemos que fuera la maqueta de un casco formado por módulos independientes, de forma que estos módulos estuvieran unidos entre sí, a través de una corredera, que los dejara sin separarse en sentido longitudinal, pero en libertad de moverse en sentido vertical, uno respecto a otro. En estas condiciones, vamos a ver las fuerzas que actuarían en cada módulo, en el supuesto de que la maqueta flotara en una masa de agua limitada por una superficie plana (Fig. 1.2, a).

Las fuerzas serían:

- a) El Peso del módulo.
- b) El Empuje debido a su forma sumergida

Figura 1.2 Esfuerzos del buque en aguas tranquilas



Por el principio de Arquímedes, $\text{Peso} = \text{Empuje}$, en equilibrio vertical, el módulo ni sube ni baja. Los distintos módulos se equilibrarían en función del peso de su estructura y de su empuje; y debido al peso distinto de los mismos y como consecuencia a lo distinto de sus formas sumergidas, tomarían en conjunto la forma de la (Fig. 1.2, d), por estar unidos longitudinalmente y en libertad vertical. Si la corredera de unión de los módulos que forman la maqueta, estuviera dotada de un pestillo, punible a voluntad, de forma que a los módulos los inmovilizáramos en sentido vertical; la maqueta – casco en estas condiciones respondería, como un todo único, y entonces su calado sería función de su peso total. Cada módulo no podrá establecer su equilibrio consigo mismo, y quedará sometido por tanto a un esfuerzo por carga en sentido vertical, que será la diferencia entre el peso y el empuje, en

dicha sección o módulo. Concentrando, el esfuerzo por carga que soporta la viga – casco a lo largo de su eslora, será la diferencia entre el peso y el empuje, por metro de estructura.

Debido a los repartos de los pesos por metro de eslora (necesidades estructurales, espacio de Máquina y de carga) y a las formas del casco sumergido, podemos observar las cargas que predominan en la (Fig. 1.2, b), y como consecuencia los tipos de esfuerzos en la (c) y (d). Estos esfuerzos originarán tensiones internas, perfectamente calculables, por los Métodos de la Resistencia de Materiales, que en la (Fig. 1.2, c) es el Momento Flector, que produce en el casco, tracción en su fibra alta y compresión en la baja; y Esfuerzos Cortantes la (Fig. 1.2, d). Siguiendo con ambas figuras, vemos como el Momento Flector tiene un valor máximo en el centro del buque, y la deformación por esfuerzo cortante, es nula en el centro, y máxima en puntos situados aproximadamente a 1/4 de la eslora, contado desde los extremos.

Hasta aquí hemos supuesto que la superficie de apoyo de la viga, que es la del casco del buque, es horizontal; pero normalmente no es así, y entonces, para ponernos lo más en la realidad posible del problema, hay que suponer al buque flotando en olas, o sea, con la superficie de la mar ondulada. Pero..., ¿qué tipo de olas?

La experiencia y la estadística han decidido, que el tipo de ola en la que razonablemente se puede suponer flota el buque, es un trocoide, cuya longitud es la eslora con el nombre de *ola Standard*. El perfil de la trocoide se superpondrá sobre el perfil del buque, en dos posiciones críticas: a) La cresta en la cuaderna Maestra y los Senos en los extremos de la

Proa y Popa (máximo esfuerzo por Quebranto) (Fig.1.3). b) El seno en la Cuaderna Maestra y la cresta en los extremos de Proa y Popa (máximo esfuerzo por Arrufo) (Fig.1.4).

Figura 1.3 Esfuerzo por quebranto en olas

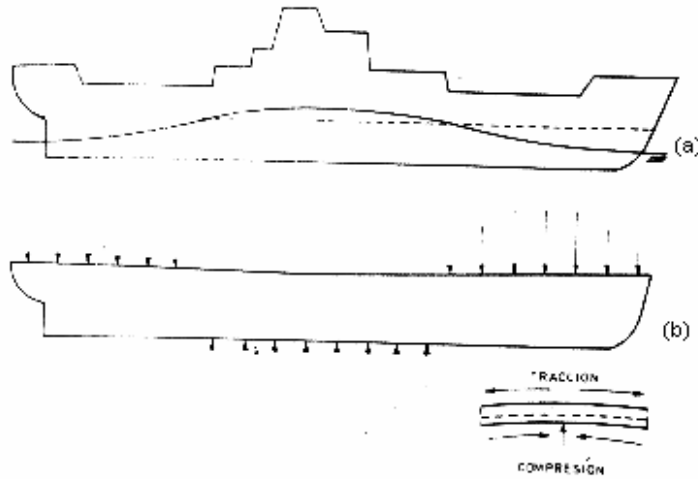
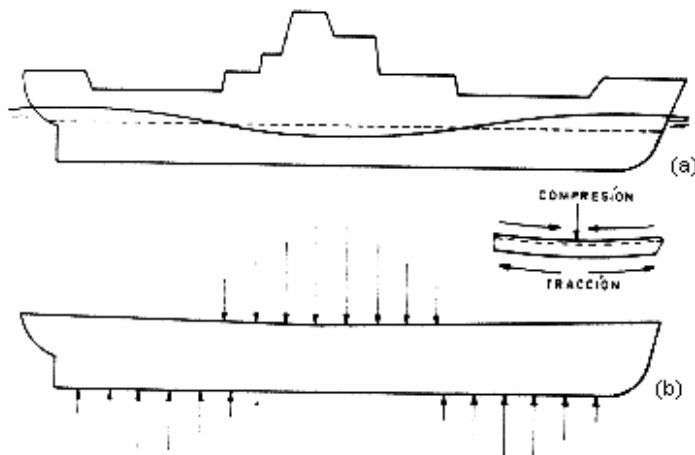


Figura 1.4 Esfuerzo por arrufo en olas



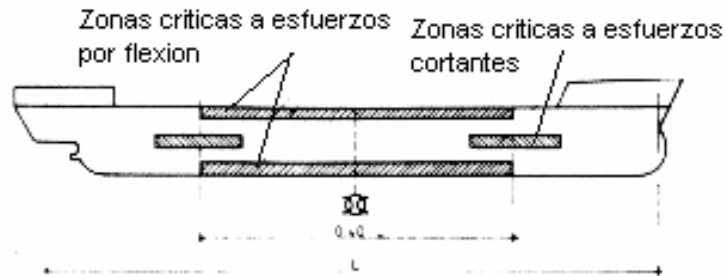
En unos tipos de buques, predominan los esfuerzos por Quebranto y en otros los de Arrufo; pero en ambos supuestos, son muy importantes, porque acompañan al buque durante toda su vida, y además cambiando del uno al otro, por el movimiento relativo del buque y la ola. Esta alternancia Quebranto – arrufo, Arrufo – Quebranto, con el cambio del sentido del

Esfuerzo, debilita la estructura del buque con los años, y la deforma. El estudio de la Resistencia longitudinal, se hace teniendo en cuenta los valores críticos del casco, para estos esfuerzos por fatiga.

Los marinos como el barco ya lo tenemos con sus datos de Resistencia, y la mar... es la mar, nuestra misión en lo que concierne al problema de la Fatigas, es la Estiba y distribución de los Pesos a bordo (cargamento, lastre y combustible), Curva de Pesos por metro de estructura; y respecto a la Curva de Empujes, evitar las circunstancias críticas que se puedan presentar por el estado de la mar, mediante los oportunos cambios de Rumbo y velocidad.

El Momento Flector, produce máximos esfuerzos por tracción y compresión, a lo largo de las esquinas (uniones de bao – cuaderna por dentro, y por fuera, traca de cinta del costado y la de trancañiles de la cubierta del marco, que conforman la viga casco transversalmente, y en una extensión total a lado y lado de la cuaderna Maestra, del 40 ó 50% de la Eslora. Los Esfuerzos Cortantes críticos o máximos, los tenemos en unas secciones situadas a 0.25 de la Eslora contada desde la Proa y Popa, e en la proximidad del eje neutro (zona del casco donde no existe ni tracción, ni compresión, producido por el Momento Flector; más próximo al fondo del casco que a su parte alta y cubierta), (Fig. 1.5).

Figura 1.5 Zonas críticas de esfuerzos



1.2 ESFUERZOS ESTRUCTURALES TRANSVERSALES

Estos esfuerzos actúan perpendicularmente, como es lógico, a los longitudinales, los dos principales son:

- a) La presión hidrostática del agua, que actúa intentando deformar la parte sumergida y obra viva del casco (Fig. 1.6), línea de trazos; a la que se oponen los elementos estructurales correspondientes y el forro del casco (la resistencia del forro es eminentemente longitudinal, porque se opone a la deformación, con todo el largo y ancho de las planchas que la conforman; mientras que la transversal sólo se opone el espesor de las mismas, que es el parámetro menor de la plancha). Este esfuerzo es moderado y va absorbido en los cálculos de resistencia necesarios, para evitar las deformaciones por los Esfuerzos Longitudinales ya citados.
- b) Deformación transversal por esfuerzos de Inercia (Ranking), al inclinarse el buque a una banda, por la acción del perfil de la ola (Fig. 1.7). La esquina del marco transversal a lo largo de la viga – casco, se aleja del eje neutro, y las fuerzas de inercia, por tanto, se acentúan; incrementadas por la aceleración tangencial del movimiento oscilatorio. Tendiendo a esfuerzos de arrancamiento, que producen o

intentan producir, deformaciones de dicho importante marco de consolidación transversal; línea de trazos en la (Fig. 1.7)

Figura 1.6 Esfuerzo por la presión hidrostática

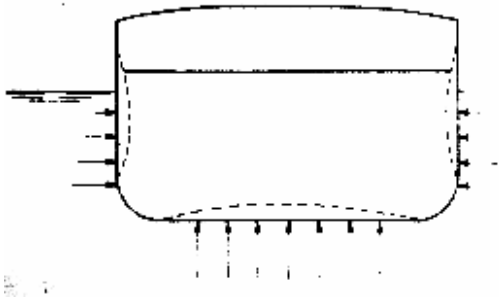
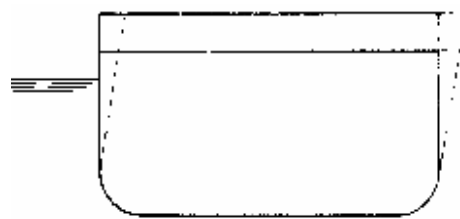


Figura 1.7 Acción deformante en el balance



Los elementos Estructurales que el barco opone a estos Esfuerzos, evitando las deformaciones, son:

- a) El costado o partes laterales del casco, en particular la traca de cinta (parte alta del mismo), y la traca de la cubierta principal, a la que se une: en dicha zona es crítico el esfuerzo. Estas tracas reciben una atención especial en los Reglamentos de todas las Compañías Clasificadoras.
- b) Como elementos internos de resistencia del costado y cubierta, para estos esfuerzos, están los baos y cuadernas, principalmente en su zona de unión; no lo hacen directamente, sino a través de una pieza de unión y apoyo, que es la consola margen, que también por supuesto recibe una especial atención por los Reglamentos.

1.3 ESFUERZOS LOCALES

Los esfuerzos locales son los afectan a zonas muy limitadas del buque. Se tiene que reforzar la parte afectada, evitando en lo posible las discontinuidades estructurales en el todo.

Los más importantes son:

- a) Cargas internas concentradas como: Maquina propulsora, Caldera; Palos; Superestructuras, etc., etc.
- b) Cargas internas como: La presión en la zona del fondo del casco, que toca primero la “cama de picaderos”, a la entrada en dique, o en una varada casual.
- c) Impacto por choques contra el agua, por efectos del cabeceo del buque navegando (Pounding), en particular con el mal tiempo, y rumbos próximos y opuestos al traslado del perfil de la ola, y velocidad excesiva. Puede llegar a originar severos esfuerzos locales, que tienen que ser absorbidas por la sección a proa del mamparo de colisión (bloque de proa).
- d) Esfuerzos dinámicos locales como: El bloque de la máquina o motor, tiende a ser arrancado, durante el giro por balance; los palos flexionan, etc., etc. Estos esfuerzos son soportados en primer lugar por sus polines de apoyo (polín: pieza intermedia de unión y apoyo, situada entre el elemento a fijar, y la estructura del buque), que transmiten el esfuerzo a la sección transversal correspondiente.
- e) Los esfuerzos estructurales generales, longitudinales y transversales, producen a su vez esfuerzos locales, relativos a su posición en la viga – casco. Así por ejemplo, una plancha, o un trozo de hilada o traca de la cubierta superior (Hilada o traca: Está

conformada por una serie de planchas unidas a lo largo y en dirección proa – popa), apoyada en dos baos sucesivos, y en proximidades de la Cuaderna Maestra, en la condición del Arrufo, se encontrará fuertemente comprimida por el efecto del Momento Flector; y simultáneamente por la separación entre baos, a efectos locales por “pandeo”, aumentado además por circunstancias instantáneas, por ejemplo, un embarque de agua en gran cantidad por mal tiempo. Estas circunstancias y otras, obligan a tener en cuenta, que las planchas susceptibles de efecto de *pandeo*, darle mayor escantillón, o en compensación aumentar sus elementos de apoyo.

Todo o casi todo, está previsto en las Tablas y fórmulas empíricas de los Reglamentos de las Sociedades Clasificadoras, mediante la investigación y la estadística.

2. ACEROS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

La calidad que le exigen a los Aceros las Compañías Clasificadoras, para que basados en sus propiedades mecánicas, que van a ser estudiadas a continuación (parte teórica) y en la experiencia (parte práctica), tengan un *factor de seguridad*, básico, para que sus Reglamentos decidan el escantillonado, del elemento estructural considerado, y que una vez el buque en servicio, dicho elemento no se vea solicitado por un esfuerzo que no sea capaz de soportar.

En los aceros dulces y soldables, la tenacidad y ductilidad, son las dos propiedades más significativas en la Construcción Naval y a comprobar estas propiedades vitales para la estructura del buque, van dirigidas las pruebas que las Compañías Clasificadoras exigen a las Siderúrgicas. También se hacen pruebas en los laboratorios de los astilleros.

En un principio, para obtener el factor “tenacidad”, se recurre a la Prueba de Tracción, mediante la que se comprueba la resistencia que opone el acero a ser deformada longitudinalmente. Los valores críticos serán: La carga en el límite elástico y de la rotura, ambas siempre en Kgf/mm^2 La carga en el límite elástico, será la carga máxima teórica del material, hasta donde puede recuperar su forma al cesar el esfuerzo. En la práctica, y por diversas razones, el *factor de seguridad*, la reduce bastante.

Ya tenemos dos factores de referencia, en las características mecánicas del acero, que son :
Cargas de Rotura y Límite Elástico.

En cuanto al factor Ductilidad, que implica la capacidad del Acero para alterar su forma, se deduce de los siguientes datos: el alargamiento que sufre la pieza hasta la rotura, durante la Prueba de Tracción, la disminución de la sección transversal, durante la prueba, hasta la rotura (Estricción).

Si recordamos que Tenacidad es la profundidad es la propiedad de un acero de no romperse bajo esfuerzos instantáneos no progresivos (un choque, por ejemplo), puede ser dúctil y no tener la suficiente tenacidad. Digamos que para una confirmación de estas propiedades mecánicas, se añadía, a la Prueba de tracción la de *doblado*. En esta prueba, la muestra de Acero se dobla, hasta poner la pieza en forma de U, con las caras paralelas y separadas como máximo una distancia de tres veces su espesor. La prueba es correcta si no hay grietas, ni defectos, en la zona exterior del codillo, formado con el doblado. Con estas Pruebas mencionadas, y en función de la experiencia estadística en la construcción de buques, los cascos de acero dulce remachado, marchaban bien a juicio de las Compañías Clasificadoras.

Pero se construye el buque soldado, y en las estructuras que se usan este tipo de unión (hoy en día todas), la grieta una vez aparecida, prospera con más facilidad, que en la unión remachada. Como consecuencia las compañías Clasificadoras en sus reglamentos, necesitan extremar en los aceros dulces, la tenacidad y la ductilidad, para lo cual recurren a una nueva

prueba, que ayuda junto con las anteriores, a precisar más el comportamiento del acero laminado en la estructura del buque, en lo que respecta a sus propiedades mecánicas. Es una prueba dinámica, llamada Prueba de Resiliencia, y se puede realizar mediante el *Ensayo Charpy*. Esta prueba clasifica a los aceros por su comportamiento en la fatiga instantánea (tenacidad), y su deformación instantánea antes de romperse (ductilidad), se mide en Kgm. (kilogramo x metro).

Las características mecánicas del acero laminado para la construcción de buques, son las siguientes:

Carga de rotura.....	De 41 a 50 Kgf/mm ²
Limite elástico.....	Igual o más 22,4 Kgf/mm ²
Alargamiento.....	22%

Hay Compañías Clasificadoras que los aceros dulces los dividen en cinco tipos o calidades, que son: A, B, C, D, E. Dan la fórmula química de los cinco. Las características mecánicas son las expresadas anteriormente. El porcentaje de contenido de carbono varía en 0,18 como mínimo en la clase E, a 0,23 como máximo en la C. En los espesores por debajo de 12,5 mm se usa el acero dulce calidad A, por encima de 12,5 mm el B y de 25 mm en adelante el C.

En las zonas críticas del casco, y para no tener que variar en demasiada el escantillón de los refuerzos o planchas del casco, creando discontinuidades nada aconsejables en estructuras

soldadas, por formación de grietas, se usa el Acero de calidad D y E, que tienen las mismas características mecánicas, pero tienen que tener la Prueba de Resiliencia, homologada por la Compañía Clasificadora (Impact test). En el acero D a una temperatura de 0° centígrados (C) es de 4,84 Kgf/mm² de resiliencia mínima, y en la calidad E a una temperatura de -10° (C) una resiliencia mínima de 6,22 Kgf/mm².

2.1 ACEROS LAMINADOS EN PLANCHAS Y PERFILES

En la construcción del casco del buque se usa acero de calidad naval (aceros dulces o al carbón), que reúnen las características de resistencia y economía, apetecida por los constructores. En las superestructuras se emplean aleaciones ligeras, por economía de peso y estabilidad, la más usada es el aluminio. Podemos añadir a los anteriores bronce, acero, acero inoxidable y plásticos.

Moderadamente se están usando cada vez más, los aceros de alta resistencia a la tracción, en cascos de gran eslora tanques, mineraleros, etc.) y grandes escotillas (contenedores).

El acero es una aleación de hierro y carbono, obtenida por distintos procedimientos metalotécnicos, y aceptados por los reglamentos de las compañías clasificadoras. Las características de este acero, varían de acuerdo con su composición química; la resistencia a la tracción, por ejemplo, se mejora, aumentando el porcentaje de carbono, por la adición de elementos tales como, el cromo, el níquel, el manganeso, etc., etc.

En los aceros dulces, sus características dependen básicamente del porcentaje de carbón; si se incrementa aumenta la dureza del mismo (la dureza esta relacionada con la tracción y como consecuencia con el binomio tenacidad – ductilidad).

Todos estos aceros pueden ser: laminados, forjados y soldados; trabajados en frío o en caliente, sin una pérdida apreciable de sus características mecánicas. A bajas temperaturas, estos aceros disminuyen su poder de entalla en las aberturas, y están expuestas estas zonas a formaciones de grietas por fragilidad.

Durante una prueba de tracción se ve que al aplicar el esfuerzo en sentido longitudinal, el acero se alarga al principio de forma elástica, hasta que pasado cierta longitud, se sigue alargando pero de forma plástica, hasta que finalmente rompe. Un aviso de fractura o ruptura viene dado pues por el alargamiento. Sin embargo, en los aceros dulces, a veces sin aviso previo, cuando la carga esta por debajo del limite elástico, ocurre la deformación de grietas por fragilidad. Este tipo de grietas, por supuesto, sucede en la unión remachada y soldada. Solo que en las remachadas tenían menos importancia, por que la grieta se extendía solo hasta el borde de la plancha donde empezó (los orificios para los remaches de unión servían de barrera). En las uniones soldadas, una vez formada la grieta, se extiende a través de la plancha, con resultados desastrosos. Teniendo en cuenta que una grieta se puede extender a una velocidad de 2000 metros por segundo. Los factores que pueden colaborar a la formación de estas grietas por fragilidad son: a) Bajas temperaturas, o fallos de aislante en zona de congelación. b) Defectos o fallos de la soldadura. c) Tensiones internas del material, y otros.

La clasificación de los aceros por las compañías clasificadoras (Lloyd's y Germanisher Lloyd): calidad A, es acero dulce normal, calidad B, similar al A, pero algo resistente en las aberturas a la formación de grietas. Calidad C, D, E, son aceros mas tenaces que los anteriores, y también mas resistentes en las aberturas a la formación de grietas. De los tres, la calidad E es la mas resistente y la C la menos. Recordamos que a estos aceros solo los diferencia la composición química, y que las características mecánicas exigidas son las mismas; solo que a las calidades D y E, se les añaden las pruebas de resiliencia a bajas temperaturas, a 0° (C) y -10° (C), respectivamente.

Actualmente, y desde hace unos años, se están utilizando unos aceros similares a los anteriores, pero que tienen una especial resistencias a los esfuerzos por tracción, y reciben el nombre de aceros de alta resistencia a la tracción. Se clasifican añadiendo la letra H a las siglas anteriores AH, BH, EH.

Las planchas y perfiles de acero laminado, con los que se construyen los actuales buques, se obtienen en los trenes de laminación; haciendo pasar un tocho al rojo, por los cilindros del laminador en sucesivas pasadas, aproximándolos cada vez mas, para obtener los espesores adecuados. Los contornos son cortados por una cizalla. Con estos sistemas, y merced a la presión que recibe el acero de los cilindros del laminador, se obtiene un acero de una estructura muy homogénea.

Las planchas se suministran de forman rectangular, y las siderurgicas relacionan el espesor con la anchura en distintas longitudes. Las hay hasta unas dimensiones de 22 metros de

largo, 4.20 de ancho y un peso de 25 Toneladas. Los perfiles los hay de distintas sección, altura y espesor. Las planchas se usan, en el forro, cubierta, tapas del doble fondo, mamparos, y en general, donde se necesita cualquier superficie metálica. Los perfiles se utilizan para reforzar dichas planchas, y con ellas toda la estructura del buque.

Las planchas y perfiles usados en la construcción de los buques, de una forma general, son los siguientes:

Planchas: material básico en la construcción del buque. rectangular en distintas medidas (Fig. 2.1, a).

Barra: pieza prismática, usada en roda, codaste, etc. (Fig. 2.1, b). La relación ancho / espesor es menor que en las planchas, o sea, que son mas estrechas y de mayor espesor.

Llanta: perfil plano (pieza muy estrecha con respecto al largo) usada en trabajos de soldadura (contretes y refuerzos en general). También se forman con ellas perfiles compuestos, que por no tener medidas normales hay que hacerlos en el astillero. Usadas de cara para reforzar los bordes de las aberturas, o en general, para reforzar bordes libres amentando su resistencia. Se suministra en distintos alto y espesor. Cuando su altura es menor de 60 mm, se le suele llamar *pletina*, y en grandes alturas *llantón* (Fig. 2.1 c, h).

Medio redondo: barra redonda cortada por la mitad. Se suele soldar en el exterior del forro en zona de fricción, como protección para el desgaste. Ejemplo, en la zona del bulbo, finos de proa y popa (a una distancia vertical apropiada y a trozos), etc. (Fig. 2.1, d).

Angulares: para unir y reforzar elementos en ángulo recto, es un refuerzo de pequeños escantillón. Los brazos son iguales, y tienen una longitud que oscila entre 40 y 150 mm, y el espesor, entre 4 y 18 mm, respectivamente (Fig. 2.1, e).

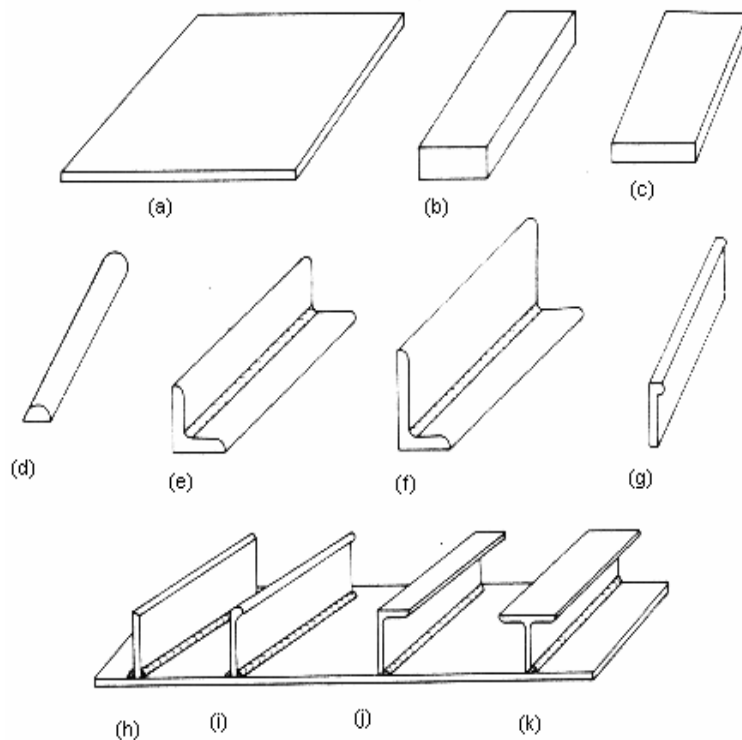
Angulares de lados desiguales: sus dimensiones oscilan entre 40 X 20 mm y un espesor de 4 mm a 120 X 80 mm y un espesor de 12 mm (Fig. 2.1, f, j).

Perfiles de bulbo: es una llanta que uno de los extremos, va reforzado en el borde (llanta con nervio). Muy usado en las estructuras soldadas: longitudinales de cubierta, costado y fondo, etc. Sus dimensiones comerciales oscilan entre un lato de 200 mm y un espesor 12, a 430 y 20 de espesor (Fig. 2.1, g, i).

Perfil en T: es un perfil de gran escantillón. Soldado invertido, forma una seccion en H con la plancha que refuerza (Fig. 2.1, k).

Otros perfiles compuestos se fabrican en astilleros, con mezclas de los anteriores.

Figura 2.1 Planchas y perfiles laminados



2.2 ACERO FORJADO

Se obtiene machacando el acero dulce al rojo blanco. Con este tratamiento se obtiene un acero de mayor tenacidad. Salvo piezas pequeñas, poco usado.

2.3 ACERO FUNDIDO

Ha sustituido al forjado, menos en las pequeñas piezas. En la construcción naval se usa para los núcleos de codastes y timón, talones de codastes soporte de timón, anclas, escobenes, etc. El acero se funde en modelos de arena especial, y después se da un recosido de 850° (C) a 900°. A la pieza fundida se le deja los sobrantes necesarios para el posterior maquinado si fuera preciso (ajustar las formas previstas). La carga de rotura es de 41 a 45 Kgf/mm².

2.4 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El usado en la construcción naval es de una estructura ferrítico-perlítica, que tiene una carga de rotura de 62 Kgf/mm² y un límite elástico de 36 Kgf/mm²; el Carbón entre 18 y 21%, y el Manganeso y Sílice entre unos porcentajes determinados. Tiene una gran resistencia a la rotura frágil, necesita menos espesor que los dulces, y por tanto usa un menor volumen de soldadura. Este tipo de aceros se usan en: grandes contenedores, bulkcarriers, supertanques, gases licuados y otros. En estos buques se usan, en zonas del casco donde se necesita más resistencia, y por tanto habría que aumentar en demasía el espesor de los aceros dulces, con el consiguiente aumento del peso del casco en detrimento de la carga a transportar.

3. PROYECTO DE PANELES NAVALES

Para analizar un panel naval dependiendo de su configuración de refuerzos y las restricciones que tenga en su contorno, se analiza por las curvas de SCHADE para proyecto de planchas reforzadas sometidas a carga uniforme de flexión.

3.1 ANCHO EFECTIVO DE PLANCHAS

Por varios autores, se ha estudiado la efectividad de las planchas unidas a los refuerzos durante el trabajo a que están sometidos los mismos.

El American Bureau of Ships utiliza un ancho efectivo de planchas de

$$\frac{l}{h} = 2 \sqrt{\frac{E}{s_y}}$$

que para los materiales normalmente usados en construcción naval se convierten en:

$$\begin{array}{ll} \text{Acero dulce} & = 60 \\ \frac{l}{h} \text{ Acero alta tensión} & = 51 \\ \text{Aluminio} & = 40/32 \end{array}$$

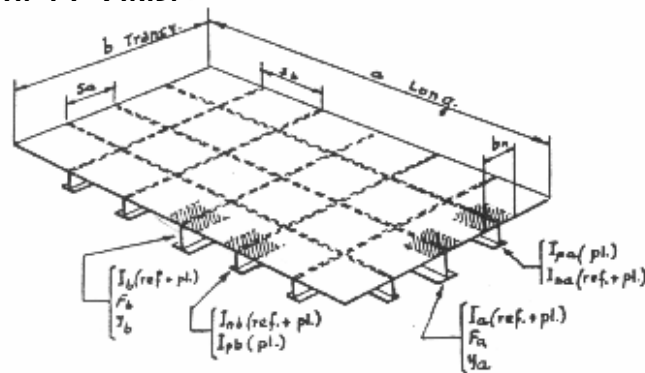
Si el área efectiva de la plancha es mucho mayor que el área del ala exterior del refuerzo, las variaciones del ancho efectivo tendrán poco efecto en el modulo de sección.

3.2 CURVAS DE SCHADE

En el S.N.A.M.E. 1941, H. A. Schade ha publicado una serie de curvas para el proyecto de planchas reforzadas sometidas a carga uniforme de flexión.

Los diversos tipos de reforzados, así como los símbolos, se muestran en la figura 3.1.

Figura 3 1 Panel



Combinando los varios tipos de reforzos, se pueden obtener todas las estructuras que se encuentran en los buques.

Los cálculos se basan en los cuatro coeficientes siguientes:

- Rigidez unitaria longitudinal

$$i_a = \frac{I_{na}}{S_a} + 2 \left(\frac{I_a - I_{na}}{b} \right)$$

- Rigidez unitaria transversal

$$i_b = \frac{I_{nb}}{S_b} + 2 \left(\frac{I_b - I_{nb}}{a} \right)$$

- Coeficiente de torsión

$$\mathbf{h} = \sqrt{\frac{I_{pa}}{I_{na}} \frac{I_{pb}}{I_{nb}}}$$

- Relación virtual de los lados del panel

$$\mathbf{r} = \frac{a}{b} \sqrt[4]{\frac{i_b}{i_a}}$$

NOMENCLATURA

A = Longitud del panel.

B = Ancho de panel.

S_a = Separación de refuerzos longitudinales.

S_b = Separación de refuerzos transversales.

I_{na} = Momento de inercia de un refuerzo longitudinal, incluyendo el ancho efectivo de planchas.

I_{nb} = Momento de inercia de un refuerzo transversal, incluyendo el ancho efectivo de planchas.

I_{pa} = Momento de inercia del ancho efectivo de la plancha solamente, que actúa con los refuerzos longitudinales.

I_{pb} = Momento de inercia del ancho efectivo de la plancha solamente, que actúa con los refuerzos transversales.

I_a = Momento de inercia del refuerzo central longitudinal, incluyendo el ancho efectivo de plancha.

I_b = Momento de inercia del refuerzo central transversal, incluyendo el ancho efectivo de plancha.

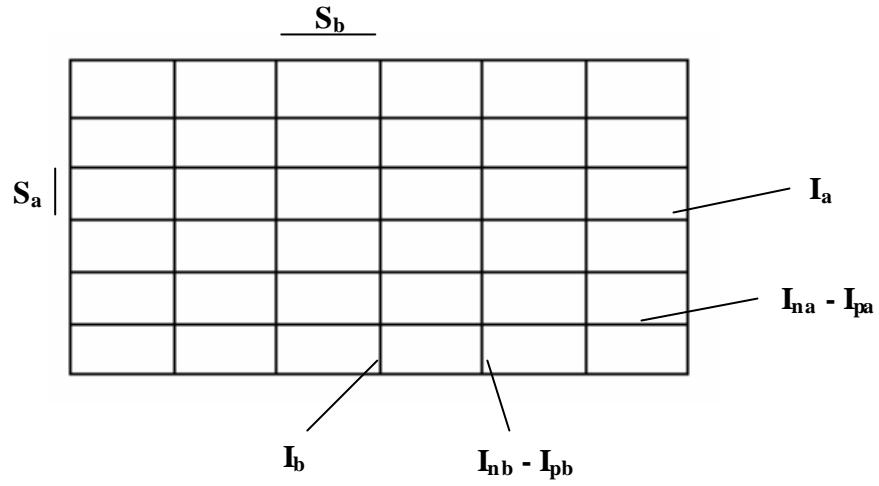
F_a = Área del alma del refuerzo central longitudinal.

F_b = Área del alma del refuerzo central transversal.

y_a = Distancia de la fibra mas alejada al eje neutro de un refuerzo central longitudinal.

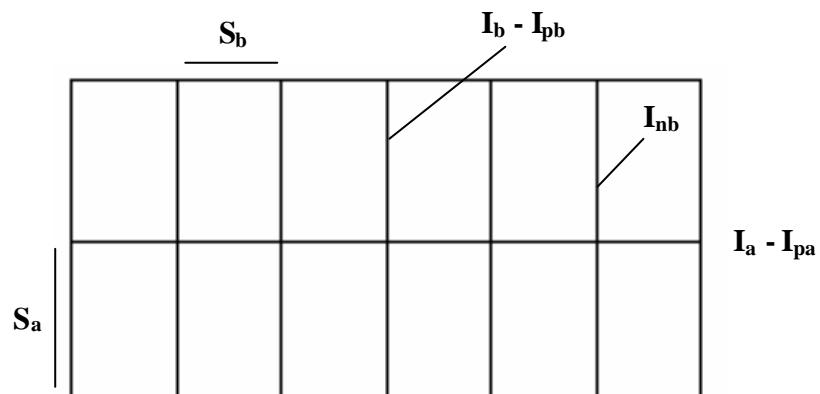
y_b = Distancia de la fibra mas alejada al eje neutro de un refuerzo central transversal.

PANEL TIPO A



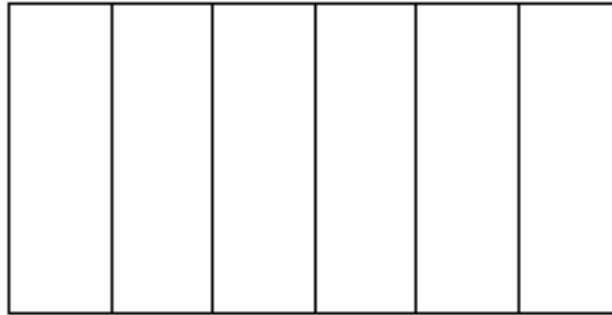
$$i_a = \frac{I_{na}}{S_a} + 2 \left(\frac{I_a - I_{na}}{b} \right), \quad i_b = \frac{I_{nb}}{S_b} + 2 \left(\frac{I_b - I_{nb}}{a} \right), \quad r = \frac{a}{b} \sqrt[4]{\frac{i_b}{i_a}}, \quad h = \sqrt{\frac{I_{pa} I_{pb}}{I_{na} I_{nb}}}$$

PANEL TIPO B



$$i_a = 2\frac{I_a}{b}, \quad I_{na} = 0, \quad i_b = \frac{I_{nb}}{S_b} + 2\left(\frac{I_b - I_{nb}}{a}\right), \quad r = \frac{a}{b}\sqrt{\frac{i_b}{i_a}}, \quad h = 0.124\sqrt{\frac{I^2_{pb} b}{I_a I_{nb} S_b}}$$

PANEL TIPO C



$$i_a = 0, \quad I_{na} = I_a = 0, \quad i_b = \frac{I_{nb}}{S_b}, \quad r = a, \quad h = \text{INDETERMINADO}$$

PANEL TIPO D



$$i_a = i_b = \frac{h^2}{12(1 - m^2)}, \quad r = \frac{a}{b}, \quad h = 1.0$$

Los valores del coeficiente de relación virtual de los lados del panel para los diversos tipos de estructuras se muestran en los anexos.

En las mismas figuras de los anexos, se dan los coeficientes para calcular las flechas y esfuerzos para varios casos de carga y condiciones de apoyos.

Deben hacerse varias aclaraciones a estas figuras, que son:

Anexo A. Flecha en el centro: puede considerarse que es la máxima, aunque no es estrictamente verdadera.

Anexo B. Esfuerzo longitudinal en el centro de la plancha: este esfuerzo se refiere a la plancha junto al borde para distinguirlo del esfuerzo en el borde. Las curvas se refieren al centro del borde, en que puede considerarse se verifica el esfuerzo máximo, aunque no es estrictamente verdad.

Anexo C. Esfuerzo longitudinal en la faldilla vertical de los refuerzos centrales: como el esfuerzo de flexión en la faldilla vertical de un refuerzo es mono-axial, mientras que en la plancha es bi-axial, en que la contracción lateral (coeficiente de Poisson) se tiene en cuenta, las curvas para ambos casos, varía. La contracción lateral no tiene efecto en las curvas de flecha, ni de flechas ni de esfuerzos cortantes en el alma de los refuerzos en los bordes.

Anexo D. Esfuerzo transversal en el centro de la plancha.

Anexo E. Esfuerzo transversal en la faldilla vertical del refuerzo central.

Anexo F. Esfuerzo en los bordes de la plancha.

Anexo G. Esfuerzo en la faldilla vertical de los refuerzos de contorno.

Anexo H. Esfuerzo cortante en los extremos de los refuerzos longitudinales.

Anexo I. Esfuerzo cortante en los extremos de los refuerzos transversales.

La única diferencia entre las figuras de los anexos 2, 4, 6 y las 3, 5, 7. Es que en el primer grupo se tiene en cuenta la contracción lateral, mientras que en el segundo se desprecia. El coeficiente de Poisson es 0.3 para el primer grupo, y 0 para el segundo. En el caso de utilizar un material cuyo coeficiente de Poisson es diferente, el valor de K se debe determinar por interpolación.

4. ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA ANSYS PARA MODELAR UN PANEL NAVAL BAJO EL MEF

El análisis por el método de elementos finitos (MEF) es una forma de simular condiciones de cargas en un diseño y determinar la respuesta del diseño a esas condiciones. El diseño es modelado usando bloques discretos de construcción llamados elementos, cada elemento posee ecuaciones exactas que describen como este responde a una cierta carga y la suma de las respuestas de todos los elementos en el modelo dan la respuesta del diseño.

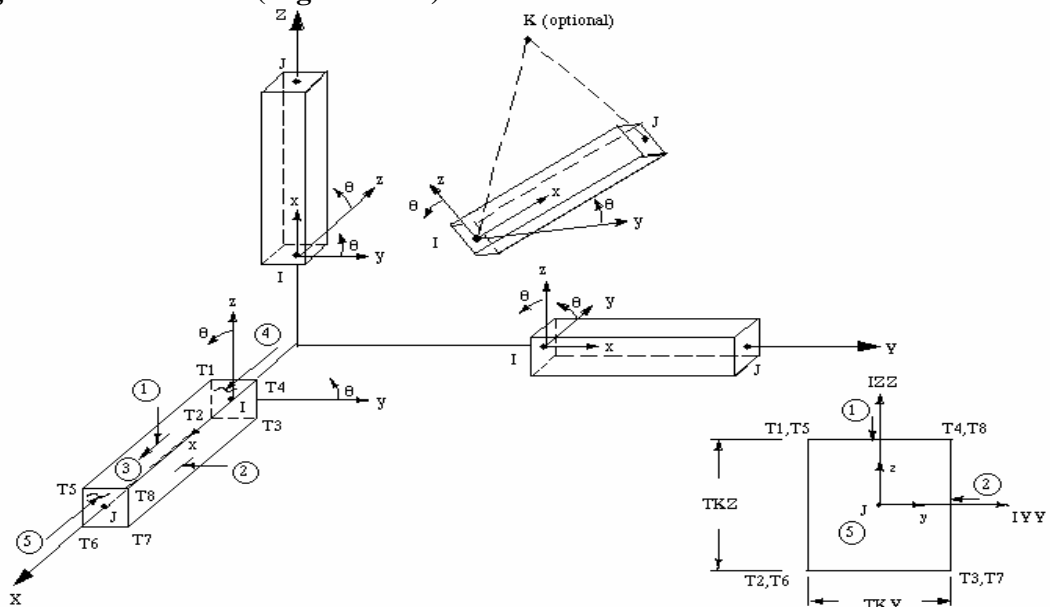
El modelo de elementos finitos que tiene un número finito de incógnitas, puede solo aproximarse a la respuesta del sistema físico real, el cual tiene infinitas incógnitas, y el grado de aproximación va relacionado con el tipo de elemento que se utilice en el modelo, a continuación se describen dos tipos de elementos los cuales fueron utilizados para modelar el panel naval.

4.1 BEAM4 3-D (VIGA ELASTICA)

BEAM4 es un elemento uniaxial con tensión, compresión, torsión, y capacidad de flexión. El elemento tiene seis grados de libertad en cada nodo: traslación en la dirección X, Y, y Z; y rotaciones al rededor de los ejes X, Y, y Z. Incluye gran capacidad de deflexión y esfuerzo de tensión. Tiene disponible una opción de esfuerzos tangenciales para el uso de análisis de grandes deflexiones (rotación finita).

4.1.1 Datos de entrada. La geometría, la localización de los nodos, y el sistemas de ejes coordenados para este elemento se muestran en la figura 4.1. Este elemento esta definido por dos o tres nodos, el área de sección transversal, dos áreas de momento de inercia (IZZ e IYY), dos espesores (TKY y TKZ), un ángulo de orientación (θ) sobre el eje X, el momento torsional de inercia (IXX), y las propiedades del material. Las propiedades no son un dato de entrada por “defecto”. Si IXX no se especifica o es igual a 0.0, se asume igual al momento polar de la inercia ($IYY + IZZ$), IXX debería ser positivo y es generalmente menor que el momento polar de inercia. El elemento de rigidez torsional disminuye con valores decrecientes de IXX. Una adición de masa por unidad de longitud se puede entrar con el valor de ADDMAS.

Figura 4.1 Beam4 3D (Viga elástica)



El elemento del eje X es orientado desde el nodo I hacia el nodo J. Para la segunda opción del nodo, por defecto ($q = 0$) orientación en el elemento del eje Y es automáticamente calculado para ser paralelo al plano global XY. Varias orientaciones se muestran en la figura 4.1. Para el caso donde el elemento es paralelo al plano global al eje Z (con un 0,01 por ciento en la pendiente de este), el eje Y del elemento es orientado paralelo al eje global de las Y (según lo demostrado). Para tener control de la orientación del elemento sobre el eje X, use el ángulo q (THETA) o la tercera opción del nodo. Si se definen ambos, la tercera opción del nodo toma precedencia. El tercer nodo (k), si está utilizado, define un plano (con I y J) conteniendo los ejes X y Z del elemento (según lo mostrado). Si este elemento se utiliza en un gran análisis de deflexión, debería notarse la localización de un tercer nodo (k), o el ángulo (THETA), es utilizada solo para la orientación inicialmente del elemento.

La tensión inicial en el elemento (ISTRN) es dada por δ/L , donde δ es la diferencia entre la longitud del elemento, L , (según lo definido por las localizaciones del nodo I y J) y la longitud cero de la tensión. Los esfuerzos cortantes de deflexión constantes (SHEARZ y SHEARY) se usan solamente si los esfuerzos de deflexión son incluidos. Un valor cero de SHEAR puede ser usado para omitir un cortante de deflexión en una dirección particular.

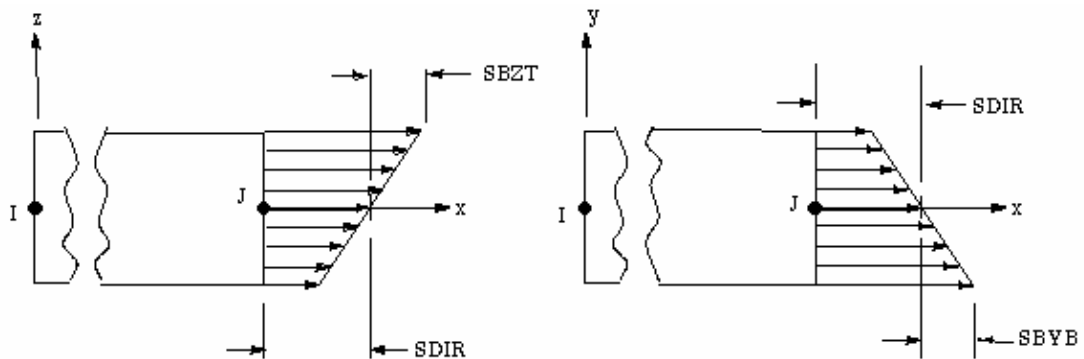
4.1.2 Datos de Salida. La solución de salida asociada con el elementos se da en dos formas:

- El desplazamiento nodal se incluye en la solución global nodal

- Elemento de salida adicional es observado en la tabla 4.1

Varios artículos se ilustran en la figura 4.2.

Figura 4.2 3D Beam4 Esfuerzos de salida



Se computa la tensión máxima como la tensión directa más los valores absolutos de ambas tensiones de flexión. La tensión mínima es la tensión directa menos el valor absoluto de ambas tensiones de flexión.

La notación siguiente se utiliza en la tabla 4.1:

Los dos puntos (:) en la columna nombre indican que el artículo se puede alcanzar por el método del nombre de la componente [ETABLE, ESOL]. Las columnas O y R indican la disponibilidad de los artículos en el nombre de trabajo del archivo. Salida (O) o en los archivos de resultados (r), una Y indica que el artículo está siempre disponible, un número

de referencia al pie de la página de la tabla describe cuando el artículo está condicionalmente disponible, o no está disponible.

Tabla 4.1 Definición de la salidas de los elementos

Name	Definition	O	R
<i>EL</i>	Element number	Y	Y
<i>NODES</i>	Element node number (I and J)	Y	Y
<i>MAT</i>	Material number for the element	Y	Y
<i>VOLU:</i>	Element volume	-	Y
<i>CENT: X, Y, Z</i>	Global location of the element centroid XC, YC, ZC	-	Y
<i>TEMP</i>	Temperatures at integration points T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8	Y	Y
<i>PRES</i>	Pressure P1 at nodes I,J; OFFST1 at I,J; P2 at I,J; OFFST2 at I,J; P3 at I,J; OFFST3 at I,J; P4 at I; P5 at J	Y	Y
<i>SDI R</i>	Axial direct stress	1	1
<i>SBYT</i>	Bending stress on the element +Y side of the beam	1	1
<i>SBYB</i>	Bending stress on the element -Y side of the beam	1	1
<i>SBZT</i>	Bending stress on the element +Z side of the beam	1	1
<i>SBZB</i>	Bending stress on the element -Z side of the beam	1	1
<i>SMAX</i>	Maximum stress (direct stress + bending stress)	1	1
<i>SMIN</i>	Minimum stress (direct stress - bending stress)	1	1
<i>EPELDIR</i>	Axial elastic strain at the end	1	1
<i>EPELBYT</i>	Bending elastic strain on the element +Y side of the beam	1	1
<i>EPELBYB</i>	Bending elastic strain on the element -Y side of the beam	1	1
<i>EPELBZT</i>	Bending elastic strain on the element +Z side of the beam	1	1
<i>EPELBZB</i>	Bending elastic strain on the element -Z side of the beam	1	1
<i>EPTHDIR</i>	Axial thermal strain at the end	1	1
<i>EPTHBYT</i>	Bending thermal strain on the element +Y side of the beam	1	1
<i>EPTHBYB</i>	Bending thermal strain on the element -Y side of the beam	1	1
<i>EPTHBZT</i>	Bending thermal strain on the element +Z side of the beam	1	1
<i>EPTHBZB</i>	Bending thermal strain on the element -Z side of the beam	1	1
<i>EPINAXL</i>	Initial axial strain in the element	1	1
<i>MFOR(X, Y, Z)</i>	Member forces in the element coordinate system X, Y, Z directions	2	Y
<i>MMOM(X, Y, Z)</i>	Member moments in the element coordinate system X, Y, Z directions	2	Y

4.1.3 Suposiciones y restricciones. La viga no debe tener un área o longitud cero. Los momentos de inercia, sin embargo, puede ser cero si no se usan deflexiones grandes. La

viga puede tener cualquier forma de sección transversal para la cual puedan ser calculados los momentos de inercia. Las tensiones, sin embargo, se determinarán como si la distancia entre el eje neutral y la fibra extrema es la mitad del espesor correspondiente. El espesor del elemento sólo se usa en el torcimiento y los cálculos de tensión termal. Se asume que las pendientes termal aplicadas son lineales a través del espesor en ambas direcciones y a lo largo de la longitud del elemento.

4.2 SHELL63 (CASCARON ELÁSTICO)

SHELL63 tiene capacidades de flexión y membrana. En ambos planos y cargas normales están permitidos. El elemento tiene seis grados de libertad en cada nodo: traslación en los nodos y direcciones X, Y y Z y rotación alrededor de los ejes X, Y, y Z. Incluye capacidad para calcular esfuerzos de rigidez y deflexiones. Una opción de la matriz de rigidez tangente está disponible para el uso en análisis grandes de deflexiones (rotación finita).

4.2.1 Datos de Entrada. La geometría, las localizaciones del nodo, y el sistema de ejes coordenados para este elemento se muestran en la figura 4.3. El elemento es definido por cuatro nodos, cuatro espesores, una rigidez de la fundación elástica, y las propiedades ortotropicas del material. Los ejes ortotropicos del material corresponden a los ejes coordenados del elemento. El elemento en el eje de las X se puede rotar por un ángulo THETA (en grados).

Para ciertas aplicaciones ya sean heterogéneas o de cáscara, las constantes reales siguientes se proporcionan: El RMI es el cociente del momento de flexión de la inercia que se usará para el cálculo de entrada del espesor. El valor por defecto RMII es 1,0. CTOP y CBOT son las distancias de la superficie media a las fibras extremas que se utilizarán para las evaluaciones de los esfuerzos. CTOP y CBOT son ambos positivos, si se asume que la superficie media está entre las fibras usados para la evaluación de los esfuerzos. Si no hay entrada, los esfuerzos serán calculados de la entrada de los espesores. ADMSUA es la masa agregada por área de unidad.

Las presiones se pueden entrar como cargas superficiales en las caras del elemento según lo que se muestra en la figura 4.3. Las presiones positivas actúan en el elemento.

La carga equivalente del elemento produce resultados más exactos de esfuerzo con los elementos planos que representan una superficie curvada o los elementos apoyados en una fundación elásticos puesto que se eliminan ciertas tensiones de flexión ficticias.

La temperatura se puede entrar como cargas del cuerpo del elemento en las “esquinas” de la (1 – 8) como se muestra en la figura 4.3. La primera esquina de temperatura T1 es por defecto TUNIF. Si el resto de las temperaturas están sin especificar, ellas son por defecto T1. Si solamente se entran el T1 y el T2, el T1 se utiliza para el T1, T2, T3, y T4, mientras que el T2 (como entrada) se utiliza para T5, T6, T7, y T8. Para cualquier otro patrón de la entrada, las temperaturas sin especificar son por defecto TUNIF.

4.2.2 Datos de Salida. La solución asociada con el elemento se da en dos formas:

- Dislocaciones nodales incluidas en la solución nodal total.
- Elemento adicional de salida como se muestra en la tabla 4.2

Varios artículos se ilustran en la figura 4.4. La figura incluye los momentos sobre la cara X (MX), los momentos sobre la cara Y (MY), y el momento de giro (MXY). Los momentos se calculan por unidad de longitud en el sistema del coordenada del elemento.

Las direcciones de los esfuerzos del elemento son paralelas al sistema de coordenada del elemento.

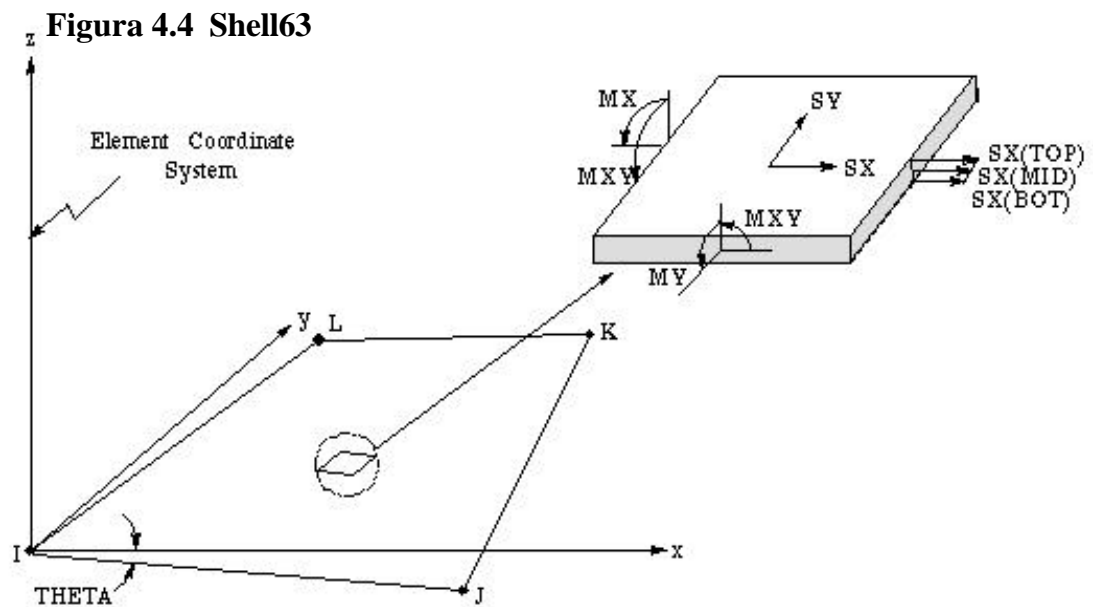


Tabla 4.2 Definición de las salidas de elemento

Name	Definition	O	R
<i>EL</i>	Element number	Y	Y
<i>NODES</i>	Nodes - I, J, K, L	Y	Y
<i>MAT</i>	Material number	Y	Y
<i>AREA</i>	Area	Y	Y
<i>CENT: X, Y, Zb</i>	Global X, Y, Z location	Y	Y
<i>PRES</i>	Pressures P1 at nodes I, J, K, L; P2 at I, J, K, L; P3 at J, I; P4 at K, J; P5 at L, K; P6 at I, L	Y	Y
<i>TEMP</i>	Temperatures T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8	Y	Y
<i>T(X, Y, XY)</i>	In-plane element X, Y, and XY forces	Y	Y
<i>M(X, Y, XY)</i>	Element X, Y, and XY moments	Y	Y
<i>FOUND.PRESS</i>	Foundation pressure (if nonzero)	Y	-
<i>LOC</i>	Top, middle, or bottom	Y	Y
<i>S: X, Y, Z, XY</i>	Combined membrane and bending stresses	Y	Y
<i>S: 1, 2, 3</i>	Principal stresses	Y	Y
<i>S:INT</i>	Stress intensity	Y	Y
<i>S:EQV</i>	Equivalent stress	Y	Y

Los dos puntos (:) en la columna NAME indican que el artículo se puede alcanzar por el método del nombre de la componente [ETABLE, ESOL]. Las columnas de O y de R indican la disponibilidad de los artículos en la fila Jobname.OUT (O) o en la fila (r), una Y indica que el artículo está siempre disponible y una (_) indica cuando el artículo no esta disponible.

4.2.3 Suposiciones y restricciones. Los elementos de área cero no se permiten. Esto ocurre muchas veces cuando los elementos no se numeren correctamente. Los elementos de espesor cero no se permiten en ninguna esquina. El gradiente termal transversal

aplicado se asume que varía linealmente a través del espesor y varia bilinealmente sobre la superficie de la cáscara.

Un ensamblaje de los elementos planos de la cáscara puede producir una buena aproximación a una superficie curvada de la cáscara a condición de que cada elemento plano no se extienda más allá de un arco de 15° grados. Si se entra una rigidez de fundación elástica, un cuarto del total se aplica en cada nodo. El esfuerzo de deflexión no se incluye en este elemento de cáscara delgada.

Un elemento triangular se puede formar definiendo el duplicado K y L de los números del nodo. Las formas adicionales se suprimen automáticamente para los elementos triangulares de modo que la rigidez de la membrana se reduce a una formulación constante del esfuerzo. Para los análisis grandes de deflexión.

Los cuatro nodos que definen el elemento deben descansar en un mismo plano; sin embargo, se permite una tolerancia pequeña de modo que el elemento pueda tener una forma levemente combada. Un elemento moderadamente combado producirá un mensaje de alerta en el listado. Si el curvado es demasiado grande, sale un mensaje de error y debería utilizarse un elemento triangular. Si se especifica la cantidad de masa en la formulación de la matriz [LUMPM, ENCENDIDO], el efecto de esta implicación en la matriz masa es ignorado para los elementos combados en SHELL63.

5. VALIDACIÓN DEL MODELO DE PANEL NAVAL POR MEF

5.1 CARACTERÍSTICAS DE UN PANEL NAVAL

En la industria naval son utilizados aceros laminados donde las propiedades más significativas de estos son la ductilidad y tenacidad. Para la cubierta de las naves el acero utilizado es ASTM A131 Grado A, con un esfuerzo de fluencia, $S_y = 2396 \text{ Kg/cm}^2$; modulo de young, $E = 2039432.4 \text{ Kg/cm}^2$; densidad, $\rho = 0.00786 \text{ Kg/cm}^3$; modulo de Poisson, $\nu = 0.3$.

La carga distribuida en la superficie del panel de $0.0348799 \text{ Kg/cm}^2$, se obtuvo de calcular la presión producida por una columna de agua de 35 cm de altura sobre la superficie del panel.

Las dimensiones del panel son longitudinalmente, 200 cm y transversalmente, 163.3 cm y esta compuesto por tres refuerzos transversales (perfiles L 50.8x50.8x4.76) los cuales se encuentran separados a igual distancia entre ellos a 50 cm, las planchas de las que se compone el panel tienen un espesor de 0.476 cm.

5.2 MODELO MATEMÁTICO

Para verificar los datos que se van a obtener en el modelo computacional, se tuvo que recurrir a tablas y ecuaciones que permiten determinar los esfuerzos en un panel naval, los

cuales están en función de la forma como los refuerzos estén colocados y la clase de apoyo que tenga el panel en su contorno (curvas de SCHADE sección 3.2).

Para empezar se determinó el tipo de configuración del panel teniendo en cuenta como estaban colocados sus refuerzos y se observo que el panel concordaba con el tipo C, el cual solo tiene refuerzos transversales. Luego sigue el cálculo del momento de inercia del perfil teniendo en cuenta el ancho efectivo de plancha, el cual se toma como la longitud de una aleta en la parte superior para el perfil lo cual nos aumentara el momento de inercia. Teniendo el momento de inercia calculamos la rigidez unitaria transversal, la cual esta definida como el momento de inercia sobre la distancia de separación entre refuerzos. Se calcula el área transversal de cada perfil incluyendo el ancho efectivo de plancha y por ultimo se determina la distancia más grande que hay del centro de gravedad del refuerzo a la fibra más lejana.

Buscamos en la grafica de esfuerzo transversal en el centro de la plancha (anexos D) el valor de K. Verificando primero que el modulo de Poisson sea de 0.3 que pertenece al acero. Con el valor de ρ que viene dado por la configuración tipo C y las condiciones de los contornos que es simplemente apoyada obtenemos el valor de K para el esfuerzo.

Esfuerzo transversal en el centro de la plancha

K = Constante

P = Carga sobre el panel

y_b = Distancia del centro de gravedad a la fibra mas alejada

i_b = Rigidez unitaria transversal

$$s = K \frac{Pb^2 y_b}{i_b} = 0.1374 \frac{(0.0348799)(163.3)^2(4.3167)}{1.252} = 440.6379 \frac{Kgf}{cm^2}$$

Esfuerzos cortantes en los extremos de los refuerzos

K = Constante

P = Carga sobre el panel

b = Longitud transversal de panel

I_b = Momento de inercia del refuerzo central transversal

A_b = Área de la sección transversal del refuerzo

i_b = Rigidez unitaria transversal

$$T = K \frac{PbI_b}{A_b i_b} = 0.5 \frac{(0.0348799)(163.3)(62.76)}{(17.827)(1.252)} = 16.016 \frac{Kgf}{cm^2}$$

Se han obtenido dos valores de esfuerzo que serán de utilidad para corroborar el modelo computacional.

5.3 MODELO COMPUTACIONAL

Se generaron dos modelos, uno generando el panel con sus planchas y refuerzos como áreas para luego enmallar con el elemento SHELL63, que es un elemento de lamina, y un segundo modelo donde se generaron las planchas como laminas y los refuerzos como líneas, en este caso se utilizaron dos tipos de elementos SHELL63 que se empleo para las planchas que son áreas y BEEM4 empleado para los refuerzos que en este caso se tomaron como líneas. Para generar estos modelos se tiene que tener en cuenta la dirección de los ejes coordenados, el eje Z debe ir hacia arriba. Para que concuerde con los ejes de los elementos empleados.

Para la generación del primer modelo se empezó eligiendo el tipo de análisis que es estructural, para seguir con la selección propiedades del material el cual se tomó como isotropico y se introdujeron sus respectivas características. Luego se genera la sección transversal del panel por tramos de líneas que van de los extremos a los puntos donde van los refuerzos y de un punto de refuerzo al siguiente, para luego crear los respectivos refuerzos en cada punto. Continuando todo esto se genera una línea perpendicular a la sección para extruir toda la sección paralela a ella, como un área. Luego borramos la línea que sirvo de trayectoria y pegamos todas las áreas generadas, para seguir con la selección del elemento y darles todas las constantes reales.

Aplicamos las restricciones eliminando los desplazamientos en el contorno del panel seleccionando las líneas que lo conforman incluyendo los refuerzos. Después aplicamos la

carga sobre la superficie del panel. Aquí queda construido el primer modelo para elementos SHELL63, listo para su solución.

Ahora enmallamos el modelo para distintos números de elementos teniendo en cuenta que los elementos resultantes sean lo más homogéneo posible, esto se logra dividiendo las líneas y seleccionando la opción de enmallar mapeado. Con los valores de esfuerzos obtenidos para determinado número de elementos después de correr el programa, se realiza el análisis de convergencia y se determina para qué número de elementos se estabiliza el valor de esfuerzo. Para este modelo se realizó un diagrama esfuerzo transversal central versus número de elementos.

El segundo modelo fue diseñado para dos tipos de elementos BEAM4 y SHELL63 los cuales están diseñados para enmallar vigas y laminas respectivamente. Para lo cual se siguieron estos pasos. Se inicia eligiendo el tipo de análisis que es estructural, para seguir con la selección propiedades del material el cual se tomó como isotrópico y se introdujeron sus respectivas características. Luego se genera la sección transversal del panel por tramos de líneas que van de los extremos a los puntos donde van los refuerzos y de un punto de refuerzo al siguiente aquí ya no se van a crear los perfiles como se creó anteriormente. Ahora se crea la línea que servirá de trayectoria para extruir el panel y después de extruir dicho panel debe borrarse dicha línea, para luego pegar las áreas. Teniendo el modelo completado, ahora solo resta seleccionar los dos elementos SHELL63 y BEAM4 a los cuales se les agregan las constantes reales, procediendo a dividir líneas para obtener un

enmallado homogéneo de la superficie. Primero se enmallan las áreas con la opción mapeado y luego las líneas que van representar las vigas con el elemento destinada a estas.

Aplicamos las restricciones eliminando los desplazamientos en el contorno del panel seleccionando las líneas que lo conforman y los nodos que hacen parte de las líneas que fueron tomadas como vigas. Después aplicamos la carga sobre la superficie del panel. Aquí queda construido el segundo modelo para elementos SHELL63 y BEAM4. Para cada vez que se corra este modelo con diferente numero de elementos se tienen que crear las restricciones en los nodos que simbolizan los extremos de los refuerzos ya que esta restricción desaparece cuando se elimina el enmallado para producir otro. se continua aplicándole la carga a la superficie del panel. Aquí queda terminado el modelo listo para su solución.

Después de correr el programa cada vez con diferente numero de elemento y obtenido los esfuerzos, realizamos el análisis de convergencia para elegir el numero de elementos al cual se estabiliza el esfuerzo.

5.4 RESULTADO Y DISCUSIÓN

El primer modelo en analizar fue donde se empleo el elemento SHELL63 al cual se le realizo un análisis de convergencia donde se graficaron los esfuerzos transversales en el panel contra numero de elementos y se alcanzo el equilibrio a los 2160 elementos para un

valor de esfuerzo transversal de 121.5 Kg/cm², los valores de esfuerzos fueron tomados de un nodo.

En el segundo modelo a analizar se emplearon dos tipos de elementos SHELL63 y BEAM4, cada uno de estos se empleo para definir una parte del panel, los primeros las planchas y los segundos los refuerzos. Después de realizar el análisis de convergencia se observo que el esfuerzo promedio para un punto ubicado en el centro del panel donde para el modelo anterior también se tomaron los datos tiende a estabilizarse en 396 Kg/cm².

Observando la figura 5.1 y la figura 5.2 se logra notar que para el modelo donde se combinaron los dos tipos de elementos el esfuerzo tiende a estabilizarse a menor número de elementos que en la grafica donde se utilizo un solo tipo de elemento.

Figura 5.1. Diagrama de convergencia para elemento SHELL63

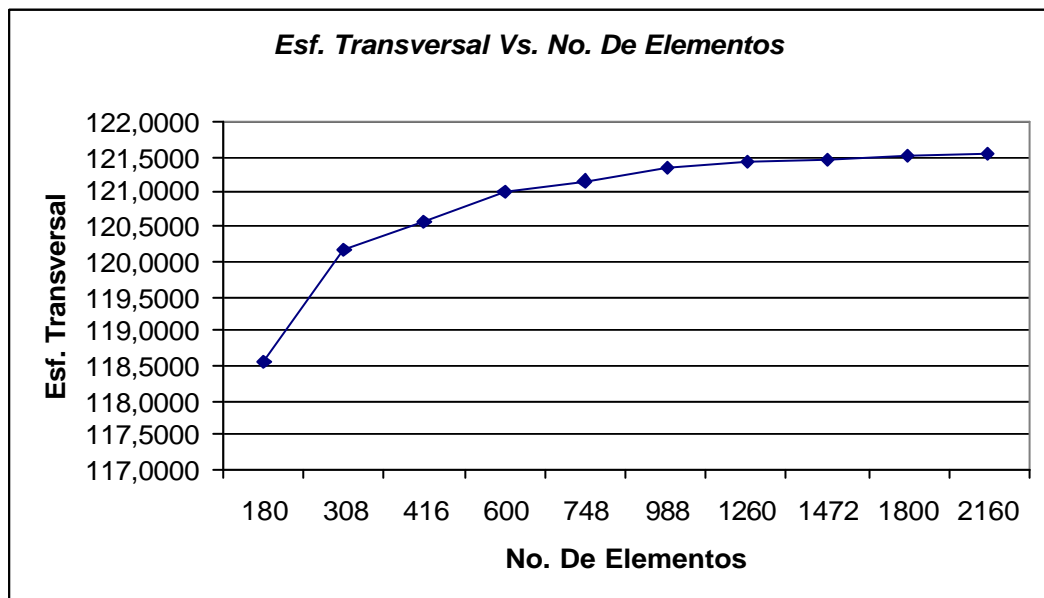
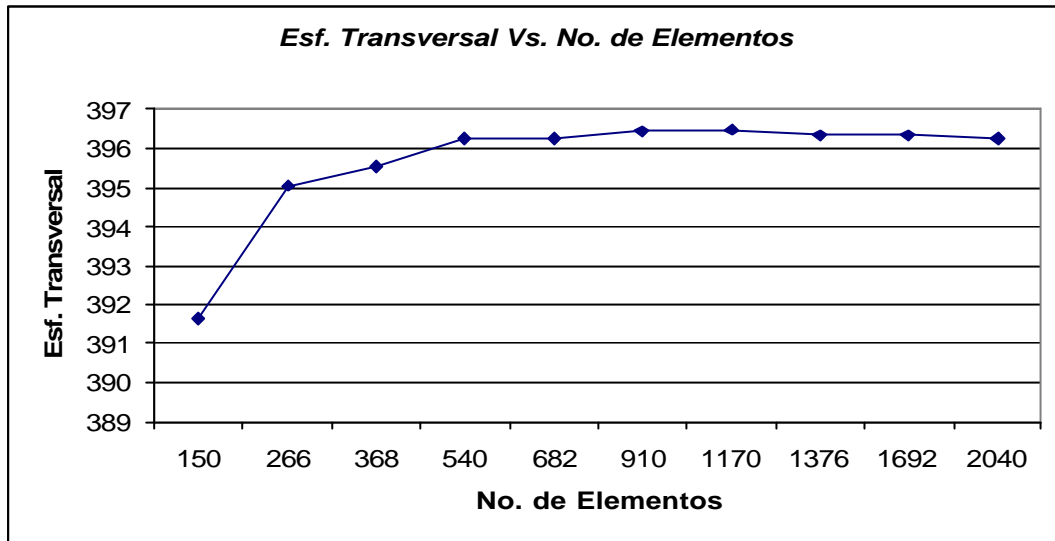


Figura 5.2 Diagrama de convergencia para elemento SHELL63 y BEAM4



El esfuerzo transversal arrojado por el modelo computacional en el centro del panel, 125.5 Kgf/cm². Ahora comparándolo con el teórico, 440.63 Kgf/cm² determinado por formulas tenemos en el modelo donde se utilizo el elemento Shell63 se produjo un error, calculado por la siguiente formula.

$$Error = \frac{Teorico - Modelo}{Teorico} \times 100 = \frac{440.63 - 121.5}{440.63} \times 100 = 72.42\%$$

Ahora tomando el segundo modelos donde se utilizaron dos tipos de elementos Shell63 y Beam4, se obtuvo un valor de esfuerzo transversal en el centro del panel , 369.2 Kgf/cm²

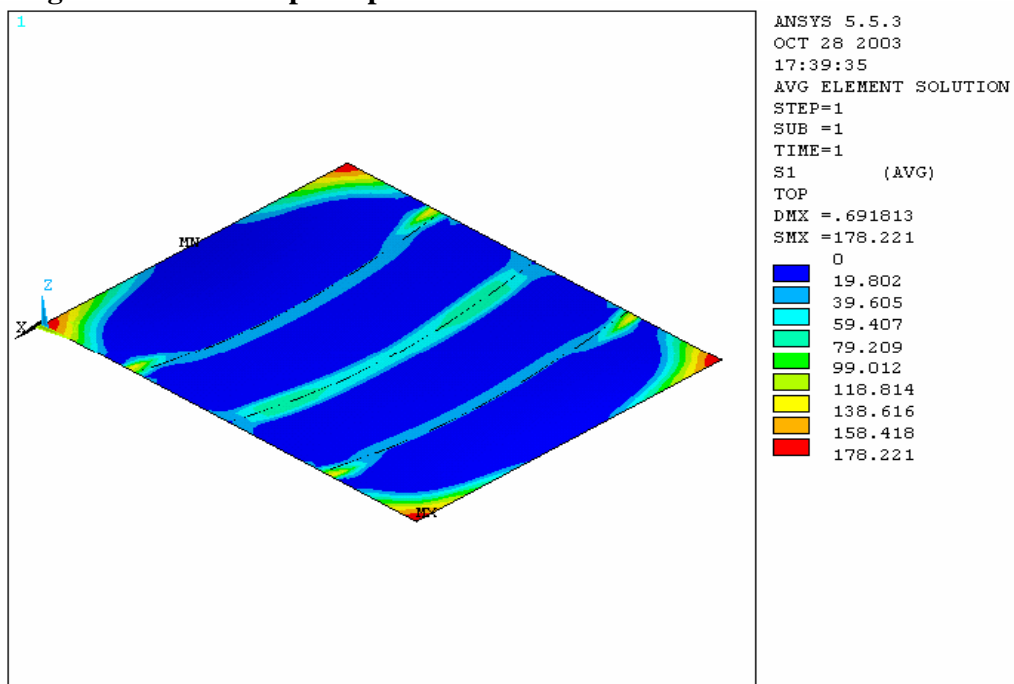
tomando este valor y comparándolo con el teórico, se obtiene el error en el modelo por la siguiente formula.

$$Error = \frac{Teorico - Modelo}{Teorico} \times 100 = \frac{440.63 - 396.2}{440.63} \times 100 = 10.12 \%$$

Comparando los dos errores arrojados por los modelos se escogió el modelo que presento error de 10.12 %, el cual fue el mas bajo. En este modelo se empleó el elemento Shell64 y el elemento Beam4 para enmallar el modelo.

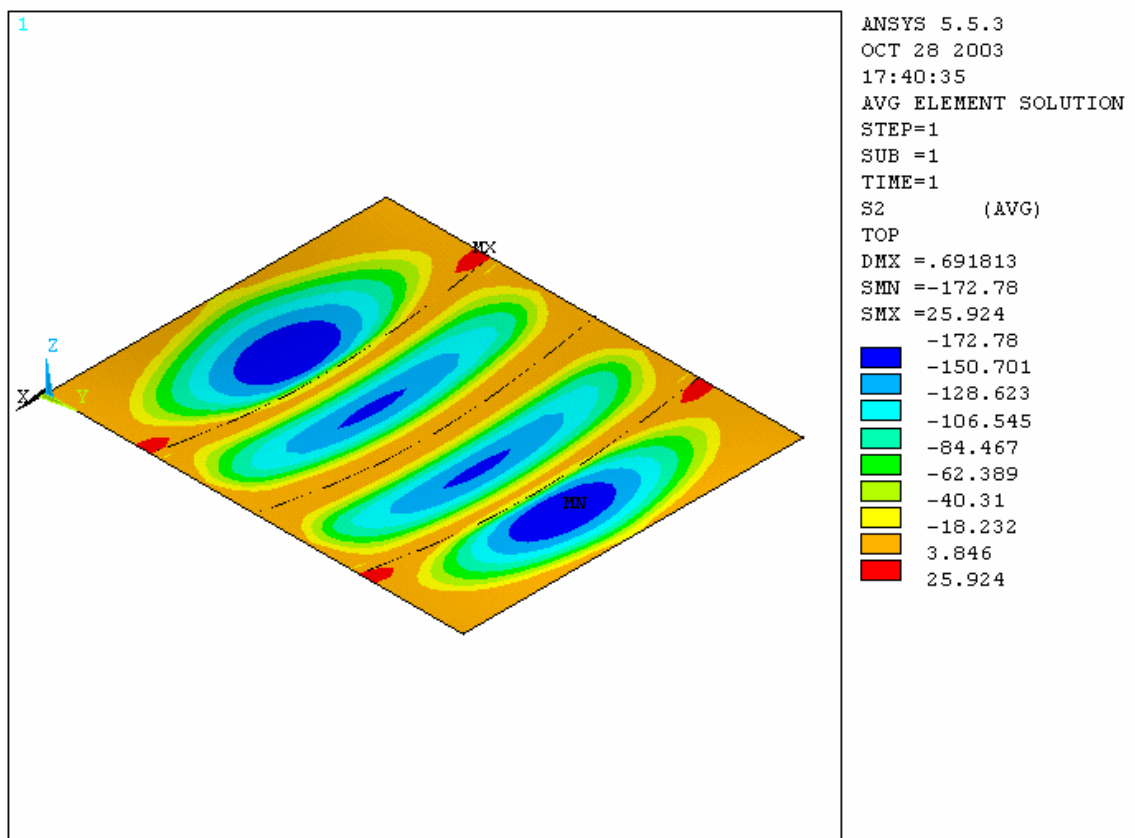
Analizando el modelo con dos tipos de elementos observamos los esfuerzos principales en la superficie de la lamina, el esfuerzo principal numero uno se hace máximo en los vértices del panel como se observa en la figura 5.3, con un valor promedio de 168.32 Kg/cm². los cuales van disminuyendo a medida que se adentra en el panel. los valores mínimos de esfuerzo se encuentran entre los refuerzos.

Figura 5.3 Esfuerzo principal No. 1



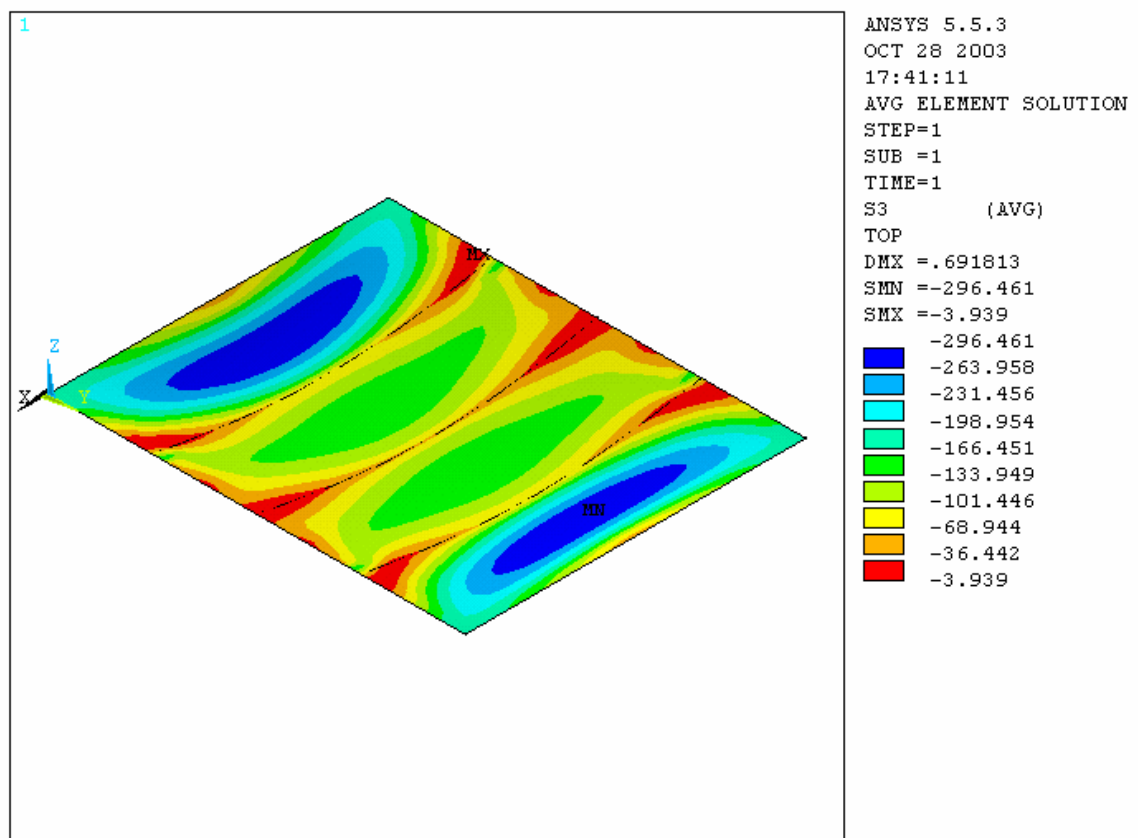
Ahora observando los segundos esfuerzos principales, los máximos esfuerzos se pueden apreciar en el centro de cada plancha, o sea entre los dos refuerzos transversales como se observa en la figura 5.4. Estos esfuerzos tienen un valor promedio de 161.74 Kg/cm^2 , los esfuerzos mas bajos se encuentran en el borde del panel muy cerca de los extremos de los refuerzos transversales.

Figura 5.4 Esfuerzo principal No. 2



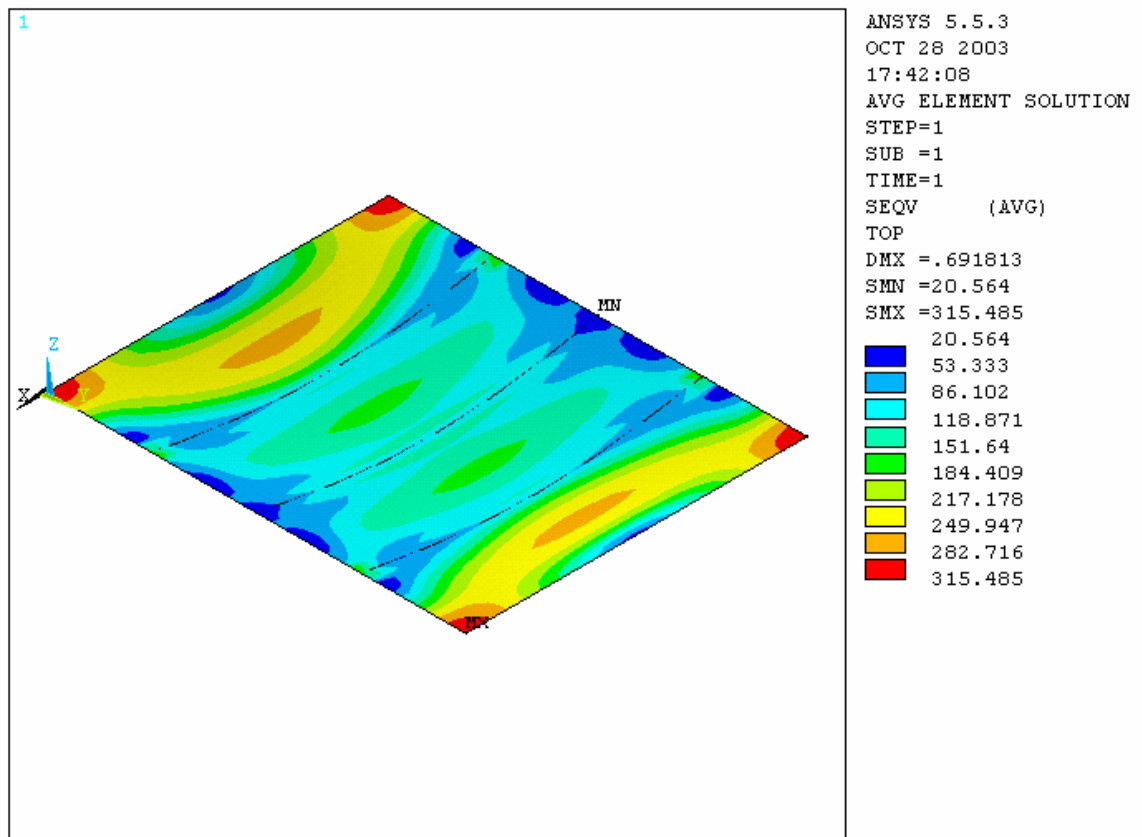
Observando donde se produce el máximo tercer esfuerzo principal del panel, vemos que este ocurre en los extremos de panel como se logra ver en la figura 5.5 las áreas de color azul, estos esfuerzos tienen un valor promedio de 280.20 Kg/cm^2 . Los esfuerzos mínimos se encuentran en la superficie del panel donde va colocado el refuerzo.

Figura 5.5 Esfuerzo principal No. 3



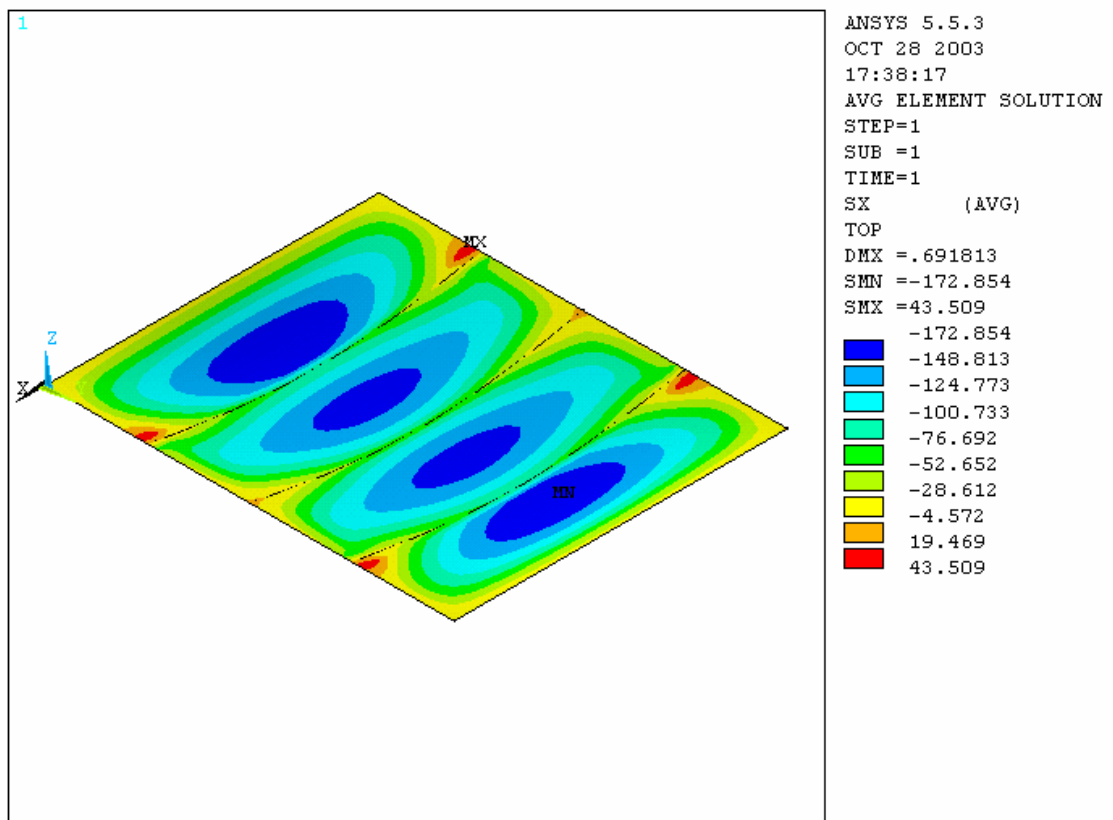
Los esfuerzos de Von Mises se hacen mayores en los vértices del panel igual que el primer esfuerzo principal y presenta un valor promedio de 299.1Kg/cm^2 , los esfuerzos mas bajos se logran observar en el resto del contorno del panel, podemos ver que un promedio entre los valores máximos y mínimos de esfuerzo de Von Mises se tienen entre dos refuerzos como se muestra en la figura 5.6.

Figura 5.6 Esfuerzos de Von Mises



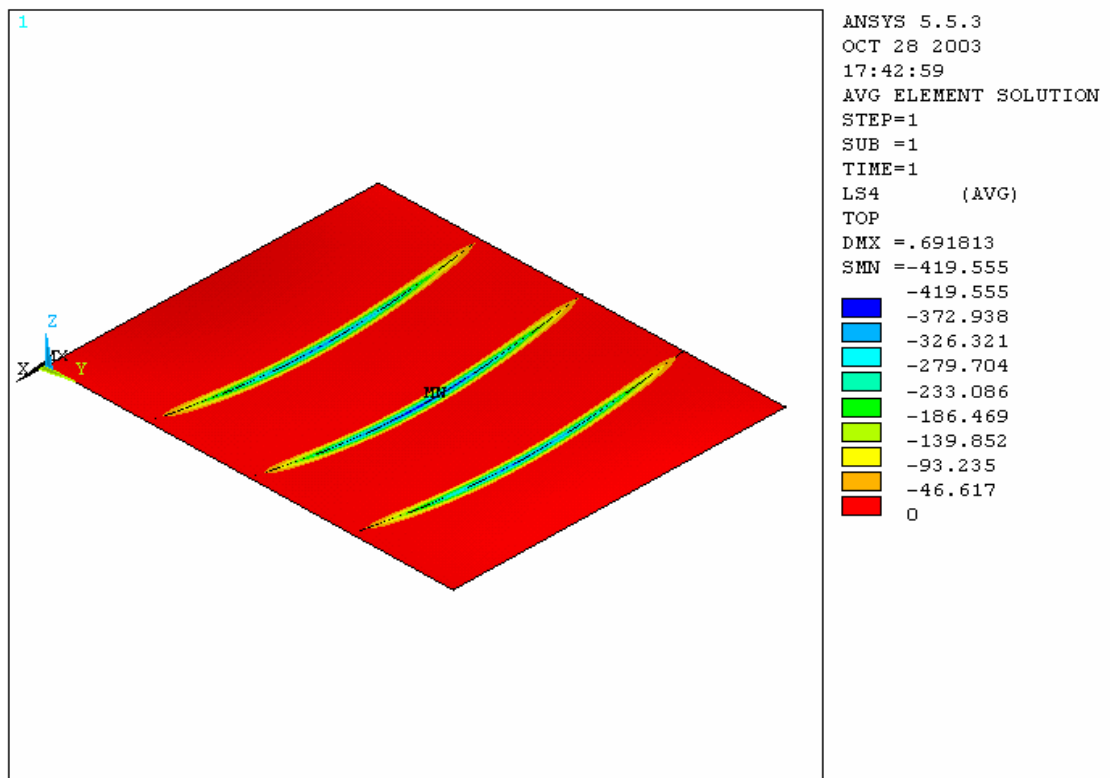
Los esfuerzos en la dirección X se hacen máximos en el centro de las planchas localizadas entre dos refuerzos con un valor promedio de 160.83 Kg/cm^2 como se aprecia en la figura 5.7. Los esfuerzos mínimos están localizados en los bordes del panel cerca de los extremos de los refuerzos donde se logra observar un cambio de sentido en la dirección del esfuerzo.

Figura 5.7 Esfuerzos en la dirección X para la lamina



El comportamiento del esfuerzo en la dirección X del refuerzo transversal es distinto a el de la lamina, por que para el refuerzo los esfuerzos en la dirección X son mayores lo cual lo hacen mas critico para este caso que la lamina.. el esfuerzo máximo en el refuerzo es de 396.24 Kgf/cm², ubicado en el centro del refuerzo figura 5.8.

Figura 5.8 Esfuerzos en la dirección X para los refuerzos



6. CONCLUSIONES

Se determino que el modelo que mejor se asemeja a la realidad es el que contiene dos tipos de elementos SHELL64 y BEAM4, los cuales están representando las partes para las cuales fueron diseñadas como laminas y vigas respectivamente, lo cual lo hace un modelo con mayor confiabilidad y a la hora de realizar el análisis de convergencia se observo que el valor del esfuerzo alcanzo su valor constante con menor numero de elemento para este modelo.

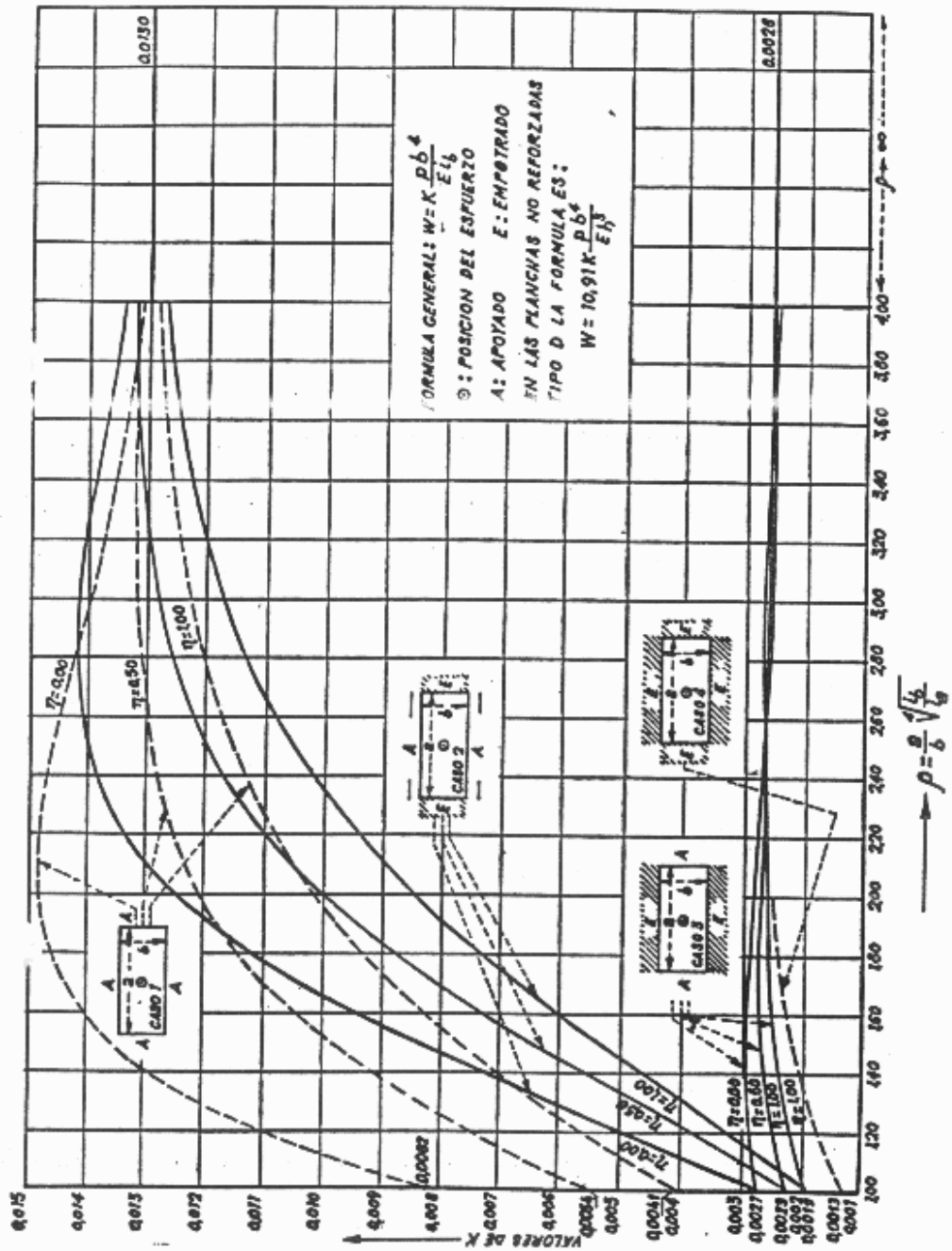
Observando los diagramas de los análisis de convergencia se logra notar que para el modelo donde se combinaron los dos tipos de elementos el esfuerzo tiende a estabilizarse a menor número de elementos que en la grafica donde se utilizo un solo tipo de elemento. Esto puede deberse a que al generar el primer modelo este tuvo un mayor área superficial por la representación de los refuerzos como laminas extruidas en la dirección transversal del panel, en cambio para el segundo modelo los refuerzos no se representaron por áreas, si no por líneas las cuales necesitaron menor numero de elementos.

A la hora de realizar un modelo hay que buscar los elementos que representan mejor los componentes de dicho modelo para obtener una mejor respuesta con resultados mas reales por parte del programa y economizar tiempo.

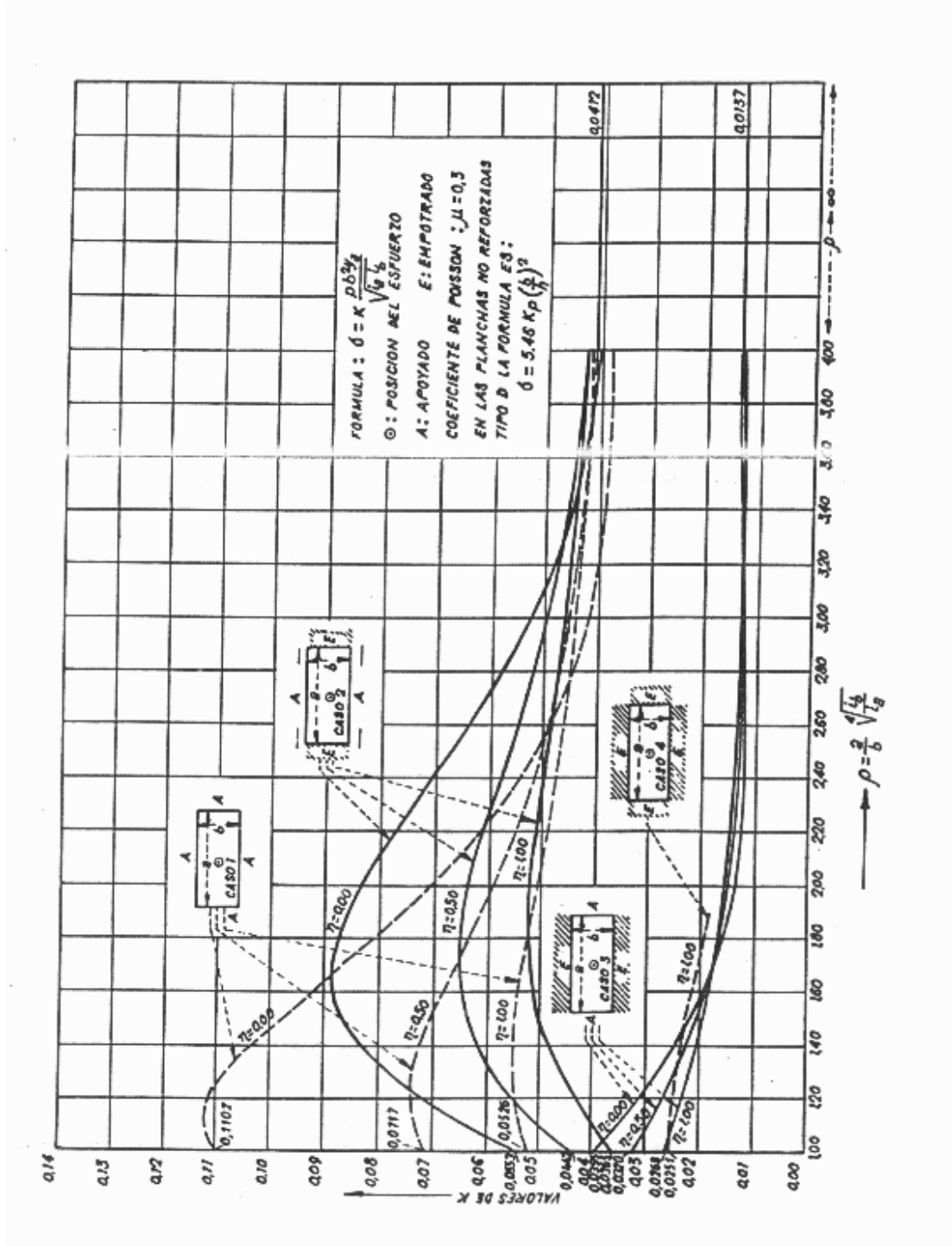
El elemento BEAM4 solo muestra los esfuerzos producidos por flexión, tracción como también fuerzas y momentos, pero no muestra los esfuerzos cortantes en la viga. Lo cual nos impidió comparar el esfuerzo cortante en el extremo del refuerzo central del modelo que contiene un solo elemento en su estructura con el que contiene dos elementos.

7. ANEXOS

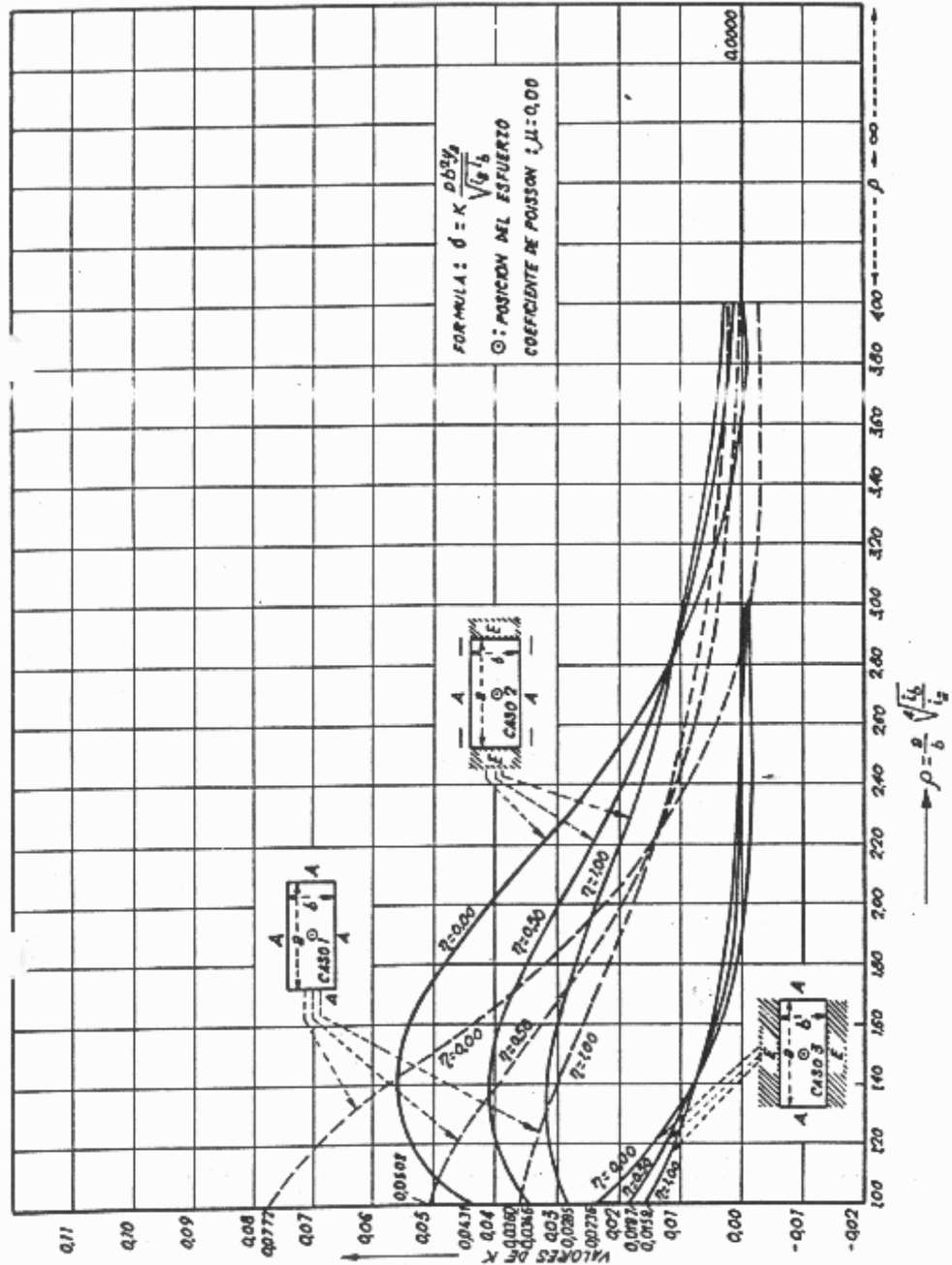
ANEXO A



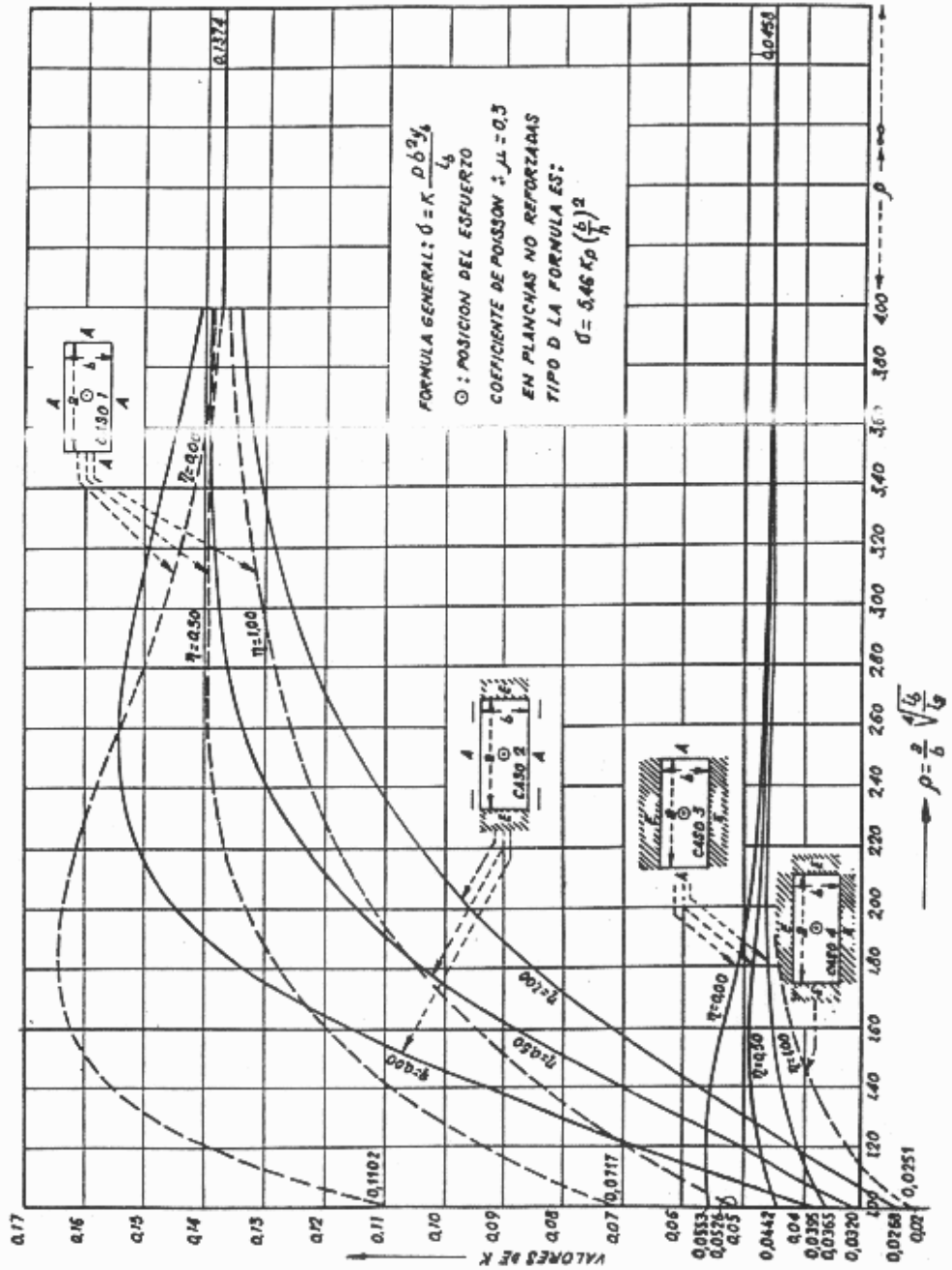
ANEXO B



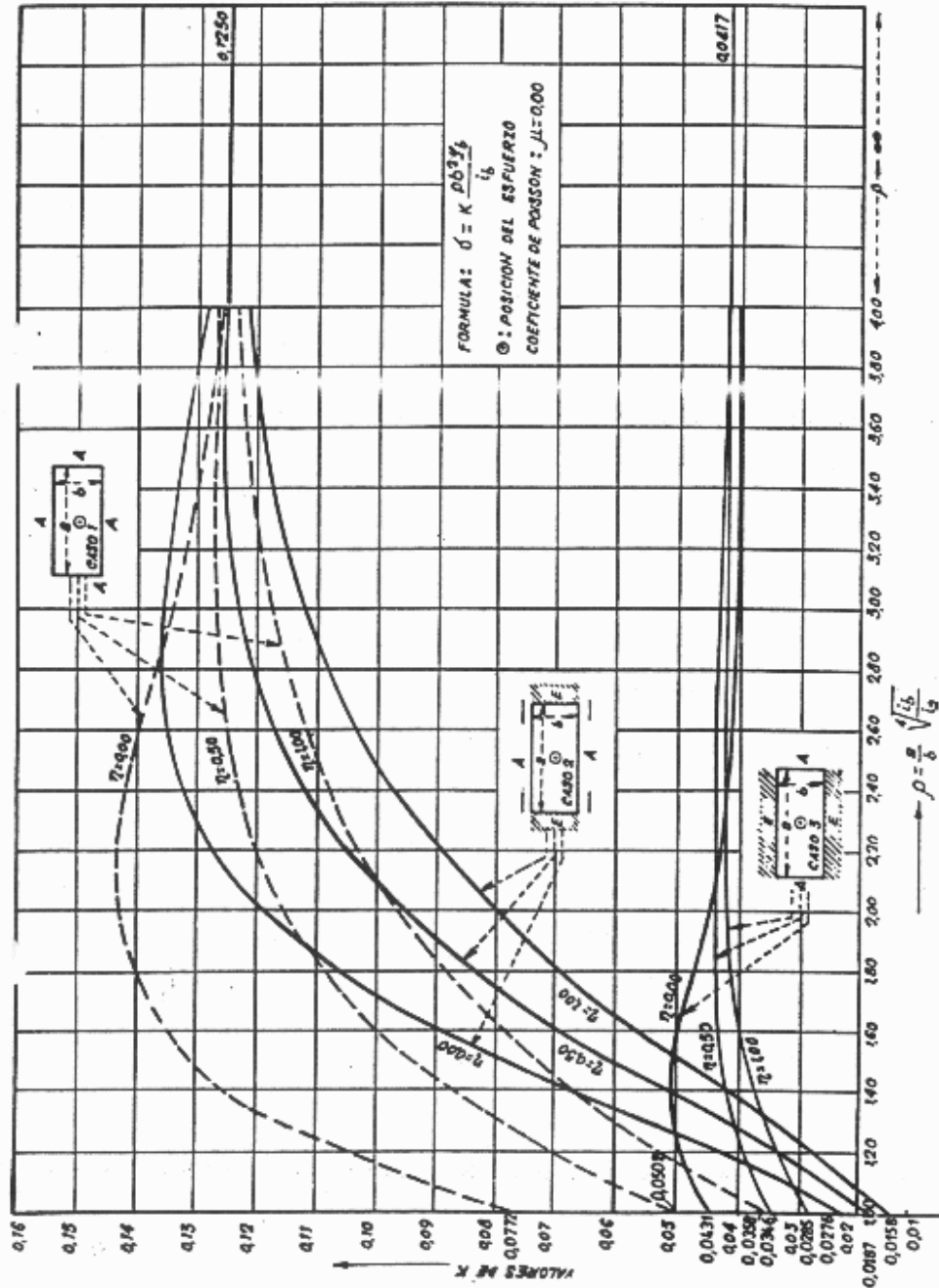
ANEXO C



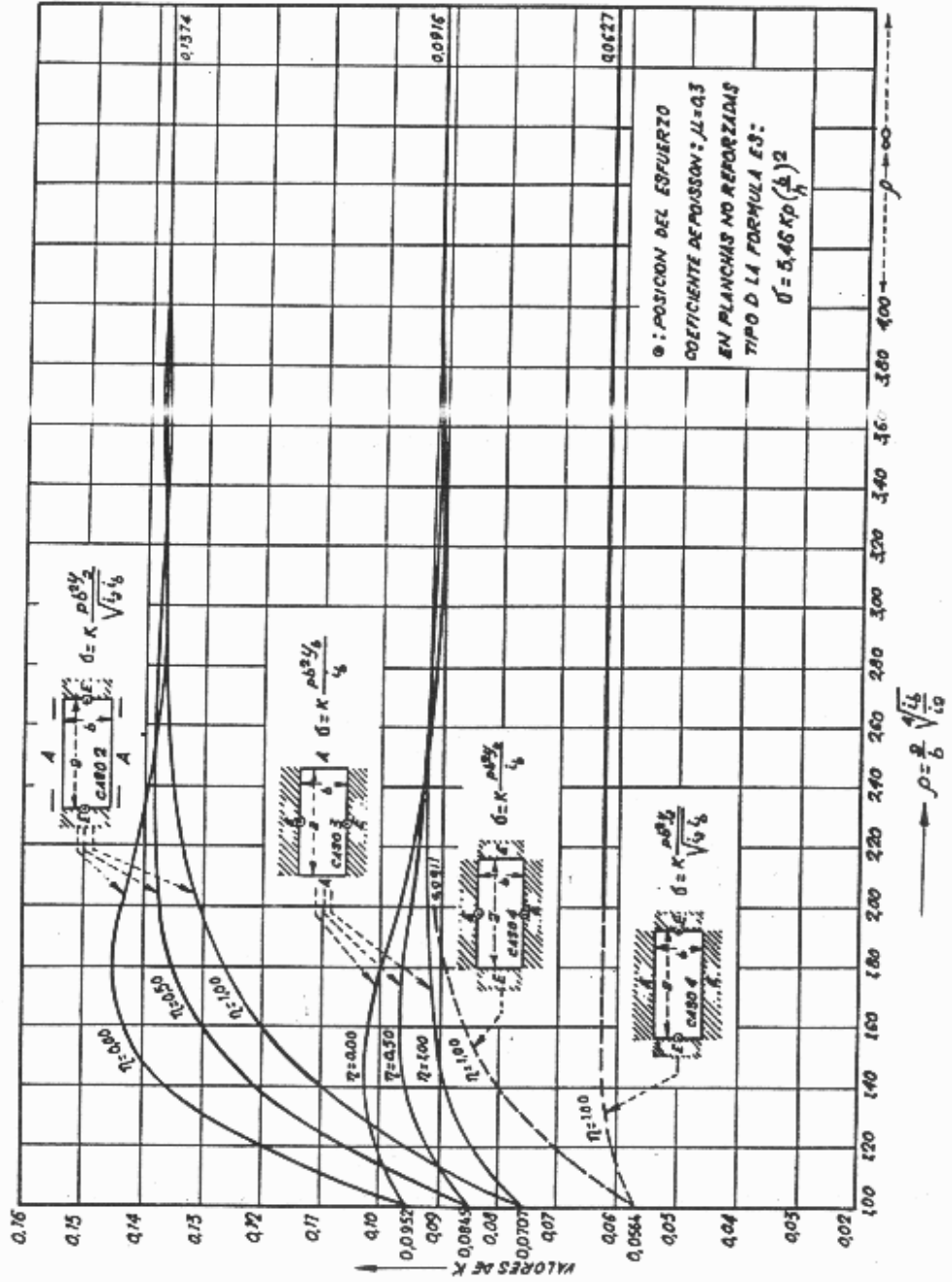
ANEXO D



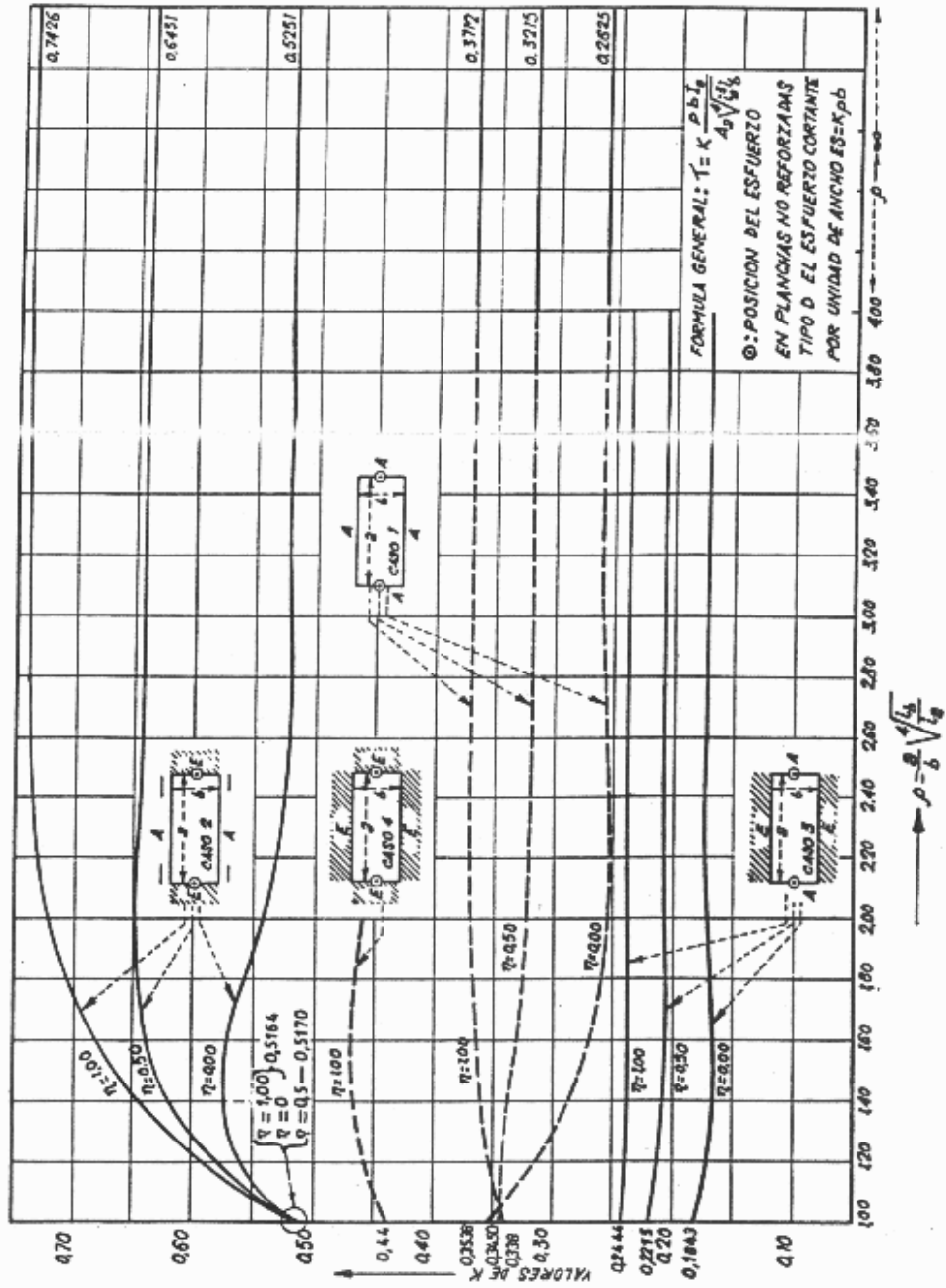
ANEXO E



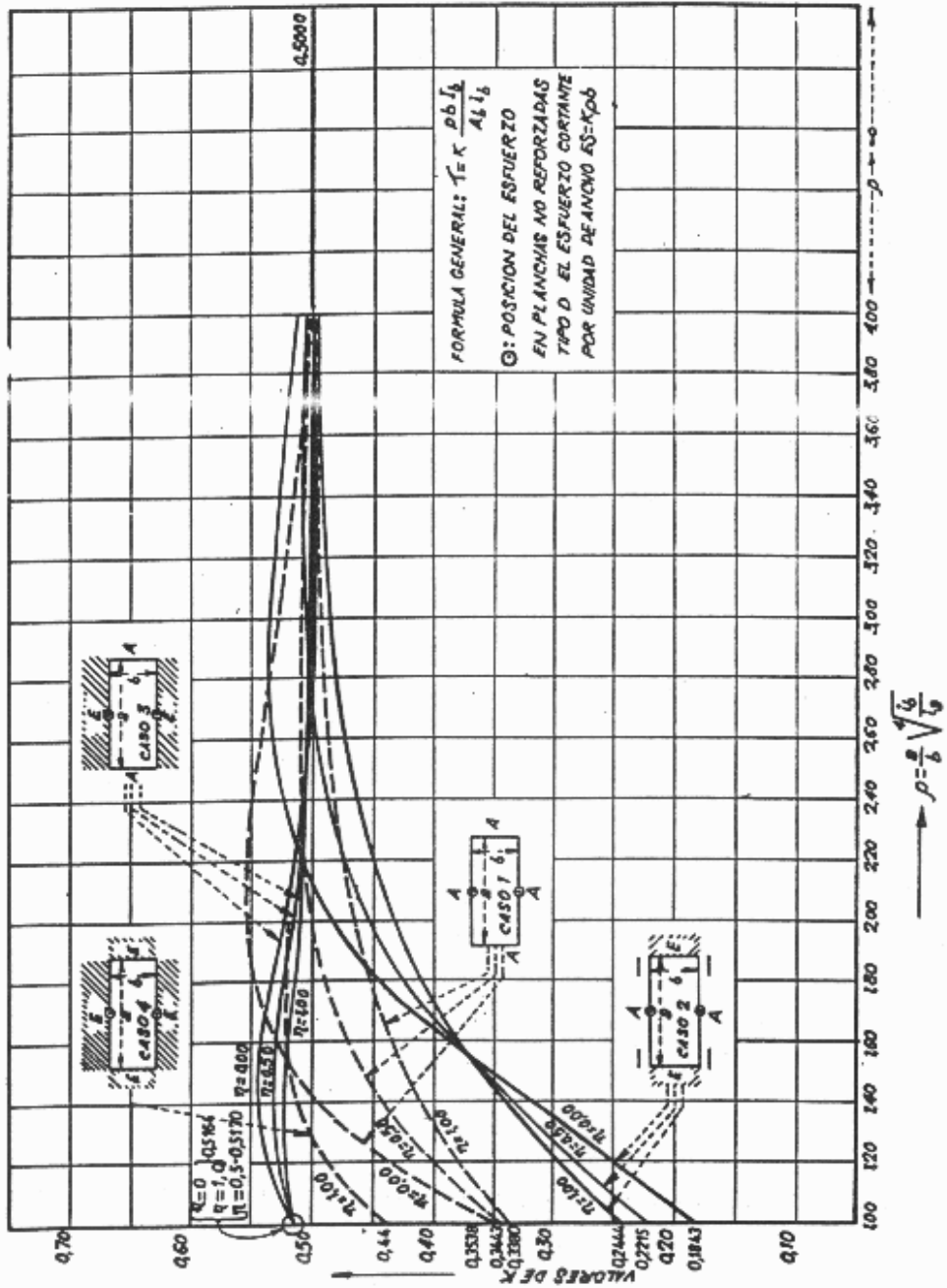
ANEXO F



ANEXO H



ANEXO I



8. BIBLIOGRAFÍA

ANSYS Inc. ANSYS analysis Guide.1998

BEER, Fernand P. y JOHNSTON Rusell, Jr. Mecánica vectorial para ingenieros “Estática”.
6^{ta} ed. España: McGraw-Hill, 1997.

_____ Mecánica de materiales. 2^{da} Ed. Colombia, 1993.

BONILLA DE LA CORTE, Antonio. Construcción naval y servicios. España: San José,
1984.

CHANDRUPATLA, Tirupathi R. y BELEGUNDU. Ashok D. Introducción al estudio del
elemento finito de ingeniería. 2^{da} ed. México: Prentice Hall, 1999.

GERMANISCHER LLOYD. Reglamentos para la clasificación y construcción de buques
de acero. Alemania: Germanischer Lloyd, 1982.

SHIGLEY, Joseph E. y MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica 5^a Ed.
México: McGraw-Hill, 1999.

TIMOSHENKO, Stephen P. Resistencia de materiales teoría y problemas mas complejos.
Madrid: España, 1945.