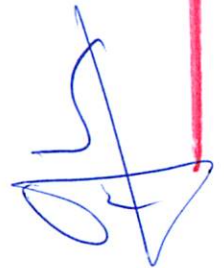
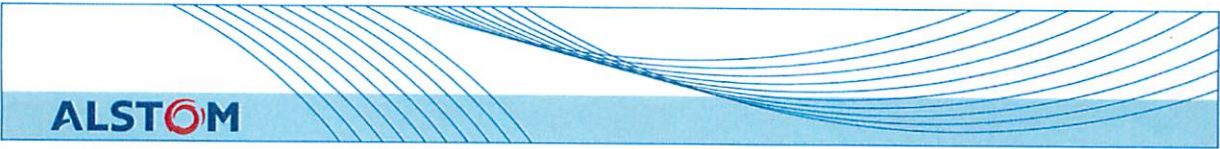


- 00000377

- ANEXO 1K -

CAJA - CÁLCULOS ESTRUCTURALES





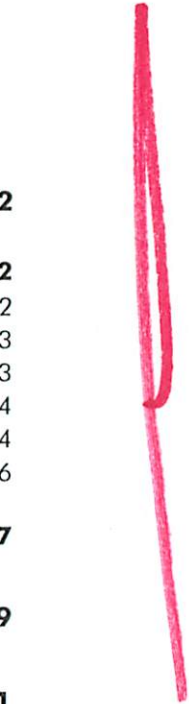
ANEXO 1K -

00000378

CAJA DE ACERO INOXIDABLE AUSTENITICO

CÁLCULOS ESTRUCTURALES

1	CÁLCULOS ESTRUCTURALES	2
1.1	EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	2
1.1.1	Teoría	2
1.1.2	Deformaciones y Tensiones	3
1.1.3	Estado de Tensiones	3
1.1.4	Elementos del entramado:	4
1.1.5	Ansys.....	4
1.1.6	Presentación de los Resultados Ansys	6
1.2	El Método de los Elementos Finitos -	7
2	LEVANTAMIENTO EN DOS PUNTOS.....	9
3	ENSAYOS ESTRUCTURALES	11
3.1	Ensayos Estáticos	11
3.2	Ensayos Dinámicos	11



1 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

El cálculo de la estructura de la caja tiene tres fases distintas. En todas las fases se calculan tensiones admisibles (límite elástico, pandeo y fatiga) para compararlas con las tensiones actuantes en la estructura de la caja.

La primera fase, considera los perfiles estructurales más relevantes para el cálculo de la caja según la teoría sobre vigas, es decir, la caja es considerada como una viga, éste es un tratado analítico que permite mucha flexibilidad para la definición general de los perfiles y espesores. Los efectos locales en este tipo de análisis son despreciados. Ningún elemento estructural sobrepasara los límites elásticos de cada material.

La segunda fase, trata la estructura con elementos finitos de entramado y enchapado. El modelo para el cálculo de las tensiones actuantes es más exacto y permite considerar algunos efectos locales, tales como, concentraciones y pandeo local. Alguna flexibilidad se puede considerar debido a la facilidad en modificar perfiles que son tratados como elementos de viga en el modelo de elementos finitos.

La tercera fase, permite un estudio detallado de la estructura pues el modelo de elementos finitos es hecho completamente con elementos del entramado, siendo posible la ejecución de análisis locales con absoluta seguridad de los resultados.

En la tercera fase también son calculadas las soldaduras y uniones estructurales, importantes para el comportamiento de la caja. El informe de cálculo con todos los datos referentes al cálculo de la estructura de la caja toma en cuenta solamente el modelo de la tercera fase, ya que ésta representa la estructura final de la caja de manera detallada.

1.1 EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos es una herramienta muy eficaz para el calculo estructural. Permite analizar estructuras con geometría complejas y comportamientos particulares de los materiales. También es posible ejecutar análisis de inestabilidad y no lineales.

Para el calculo con el método de los elementos finitos, se utiliza el ANSYS 5.6. reconocido y aceptado en todo el mundo.

1.1.1 Teoría

A continuación se presentan conceptos generales de la teoría empleada en los métodos de los elementos finitos.

1.1.2 Deformaciones y Tensiones

La relación tensión – deformación para materiales lineales es dada por:

[1]

donde:

$\{\sigma\}$ es el vector de tensiones

$$\{\sigma\} = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{yz} \quad \sigma_{xz}]^T$$

$[D]$ es la matriz de elasticidad

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} \gamma_{E_x} & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & \gamma_{E_y} & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & \gamma_{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma_{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{G_{xz}} \end{bmatrix}$$

E_x , E_y y E_z son los módulos de elasticidad en las direcciones x, y, z respectivamente.

ν_{xy} , ν_{yz} y ν_{zx} son los coeficientes de Poisson.

$\{\varepsilon\}$ son las deformaciones que producen tensiones

$$\{\varepsilon\} = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{xz}]^T$$

Es posible demostrar por medio del principio de los trabajos virtuales, que las deformaciones pueden ser relacionadas con desplazamientos nodales por:

$$\{\varepsilon\} = [B] \cdot \{u\} \quad [2]$$

donde:

$[B]$ matriz deformación-desplazamiento calculada en el punto de integración

$\{u\}$ es el vector de desplazamientos nodales.

De las ecuaciones [1] [2] tenemos:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\} \quad [3]$$

1.1.3 Estado de Tensiones

Las tensiones principales, σ_1 , σ_2 y σ_3 son calculadas a partir de los componentes de la siguiente ecuación cúbica:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma \end{bmatrix} = 0 \quad [4]$$

La tensión de Von Mises es calculada como:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad [5]$$

1.1.4 Elementos del entramado:

Para los elementos del entramado elástico, las fuerzas y momentos por unidad de longitud son computados como sigue:

$$T_x = \frac{t \cdot (\sigma_{x,top} + 4 \cdot \sigma_{x,mid} + \sigma_{x,bot})}{6} \quad [6]$$

$$T_y = \frac{t \cdot (\sigma_{y,top} + 4 \cdot \sigma_{y,mid} + \sigma_{y,bot})}{6} \quad [7]$$

$$T_{xy} = \frac{t \cdot (\sigma_{xy,top} + 4 \cdot \sigma_{xy,mid} + \sigma_{xy,bot})}{6} \quad [8]$$

$$M_x = \frac{t^2 \cdot (\sigma_{x,top} - \sigma_{x,bot})}{12} \quad [9]$$

$$M_y = \frac{t^2 \cdot (\sigma_{y,top} - \sigma_{y,bot})}{12} \quad [10]$$

$$M_{xy} = \frac{t^2 \cdot (\sigma_{xy,top} - \sigma_{xy,bot})}{12} \quad [11]$$

$$N_x = \frac{t \cdot (\sigma_{xz,top} + 4 \cdot \sigma_{xz,mid} + \sigma_{xz,bot})}{6} \quad [12]$$

$$N_y = \frac{t \cdot (\sigma_{yz,top} + 4 \cdot \sigma_{yz,mid} + \sigma_{yz,bot})}{6} \quad [13]$$

donde:

T_x , T_y y T_{xy} son las fuerzas planares en las direcciones x y y

M_x , M_y y M_{xy} son los momentos flectores en el elemento.

N_x y N_y son las fuerzas cortantes transversales.

t es el espesor en el punto medio del elemento.

$\sigma_{x,top}$, $\sigma_{x,mid}$, $\sigma_{x,bot}$, $\sigma_{y,top}$, $\sigma_{y,mid}$, $\sigma_{y,bot}$ tensiones normales

$\sigma_{xy,top}$, $\sigma_{xy,mid}$, $\sigma_{xy,bot}$ tensiones tangenciales.

1.1.5 Ansys

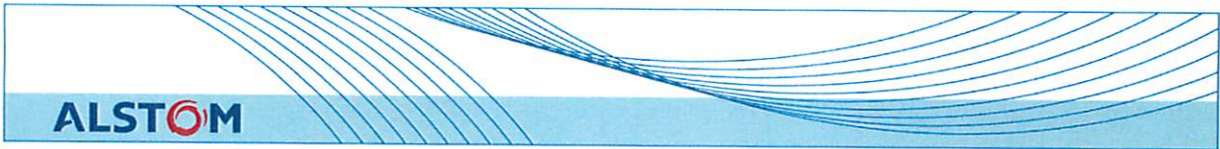
ANSYS nació en 1970. Este método ofreció la capacidad de realizar cálculos de estática, dinámica y cálculos de traslado de calor en un sólo programa. Las versiones iniciales operaron en computadoras. Cuando el hardware de las computadoras cambiaron y se desarrollaron nuevas técnicas, se ofrecieron versiones mejoradas.

Dos eventos han sido significantes en la evolución del programa de elementos finitos. Primero fue la introducción de pre y post procesadores interactivos simplificando la preparación de los datos y ayudando a evaluar los resultados. ANSYS proporciona pre y post procesadores con lenguaje de comandos, funciones de menú, y los despliegues gráficos. Éstas propiedades han hecho el uso del programa considerablemente más

simple y eficaz. En segundo lugar, fue la introducción de la computadora personal. En los años 80, ANSYS introdujo la tecnología de elementos finitos dentro del alcance de la mayoría de las compañías, cuando se hicieron versiones del programa disponibles en computadoras personales. Con mejoras en la velocidad de procesamiento y capacidad de almacenamiento, el software de análisis de la computadora personal actualmente es tan capacitado como aquel disponible en las computadoras mainframe.

Algunas características importantes del ANSYS para el análisis estructural son:

- El análisis estructural lineal y no lineal, estática y dinámica: Incluye características como la plasticidad, grandes desviaciones, condiciones de interfaz, dinámica transeúnte, análisis del espectro, contestación armónica, etc
- Frecuencia modal: Computa las frecuencias naturales y los modos asociados de una estructura lineal sin amortiguación

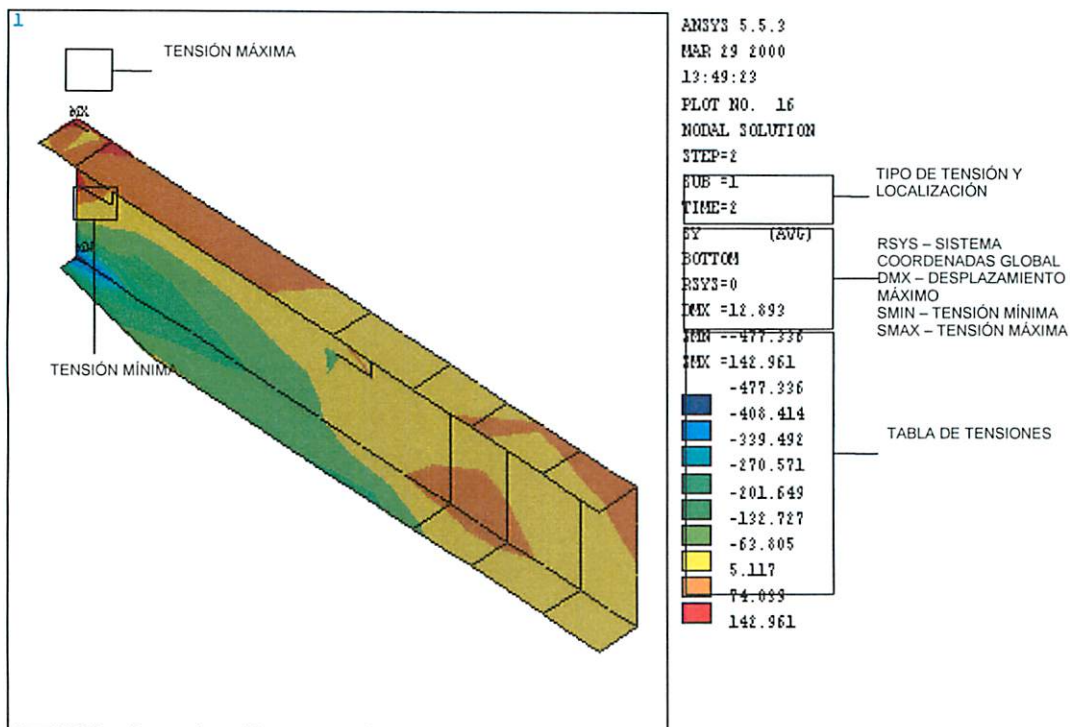


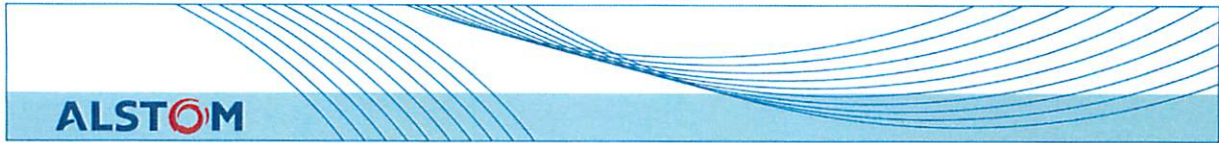
- Propiedades de los Materiales: Permite la representación de materiales dependiente de la temperatura, isotrópicas, ortotrópicas y anisotrópicas. En las linealidades incluyendo plasticidad, así como la elasticidad no lineal
- Bibliotecas de elementos: Contiene más de 70 tipos de elemento diferentes. Muchos tipos de elementos incluyen una amplia gama de opciones para crear elementos personalizados

1.1.6 Presentación de los Resultados Ansys

Para cada componente específico de la estructura, es efectuada una investigación para localizar los elementos donde ocurren las tensiones máximas y mínimas. Los valores de tensión y los números de los elementos son recopilados y presentados.

A continuación, una presentación típica que muestra como los resultados son representados. Los resultados son mostrados gráficamente y las tensiones actuantes están representadas en una escala de colores.





1.2 EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS -

ALSTOM ha usado el método de elementos finitos desde los años 70. Las aplicaciones iniciales usaron el programa de Stardyne. Algunos de los proyectos desarrollados usando Stardyne fueron:

- ◆ São Paulo Metro
- ◆ Un vagón cisterna de vía férrea sin viga central
- ◆ Trolebús y autobús urbano para 112 pasajeros

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S/O', is located on the right side of the page.

A red handwritten mark, possibly a checkmark or a stylized signature, is located on the right side of the page.

ANSYS empezó a ser usado en 1988 con la presentación de la Versión 4.3A2 de ANSYS-PC. La primera aplicación fue el proyecto de un autobús interurbano. El uso completo del programa empezó en 1990. Las estructuras de los siguientes coches fueron proyectadas con ANSYS:

- ◆ Coches para Northern Virginia Transportation Commission - NVTC, Washington, D.C., EUA
- ◆ Coches para Chicago Transit Authority - CTA, Chicago, Illinois EUA
- ◆ Metro-North Commuter Railroad Company M-6 Rail Cars EUA
- ◆ Coches para el Metro de Brasilia, Brasil
- ◆ Coches con dos pisos para AMTRAK California EUA
- ◆ Coches para NJT, New Jersey EUA
- ◆ Coches para Metrovias, Buenos Aires, Argentina
- ◆ Coches para Línea 4 del Metro de Santiago – Chile
- ◆ Coches para Línea 2 del Metro de Santiago – Chile
- ◆ Coches COFESBRA II – CPTM – São Paulo - Brasil

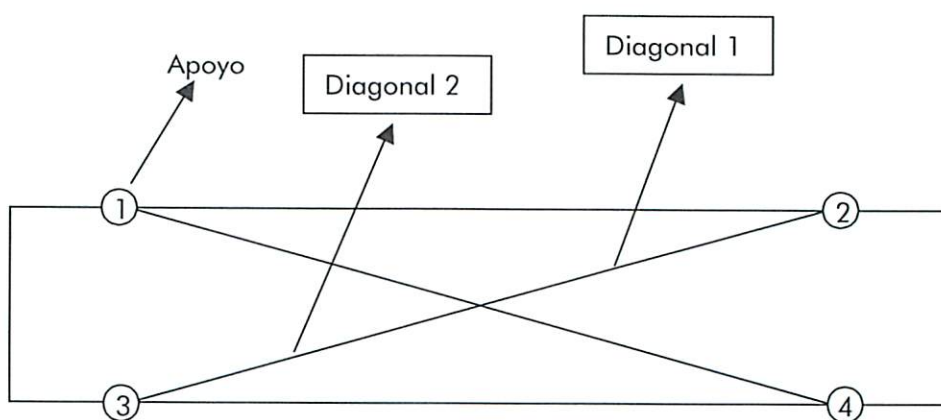
A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping letters and lines.

2 LEVANTAMIENTO EN DOS PUNTOS

Para la cláusula de levantamiento en dos puntos TP 5.2.2. serán considerados dos niveles de aplicación de los esfuerzos:

- ◆ Levantamiento del coche vacío con los soportes de los gatos hidráulicos de un extremo a otro apoyada en el bogie
- ◆ Levantamiento del coche vacío con desnivel en un soporte del gato hidráulico. El grado de desnivel es medido por el porcentaje de la carga total soportado en las dos diagonales. Se considera el 70% en la diagonal más cargada y los restantes 30% en la diagonal menos cargada

A continuación una figura para ilustrar la carga de levantamiento con desnivel.



Las reacciones de la diagonal 2 (1 y 4) deben sumar 70% del peso del coche vacío y los restantes 30% deben estar soportados por la diagonal 1 (reacciones 2+3).

Las otras condiciones de cargamento estarán de acuerdo con la norma EN12663.

ANÁLISIS DE COLISIÓN

Un análisis de colisión por medio de simulaciones numéricas será presentado. El propósito del análisis es demostrar que la caja tiene resistencia suficiente para proporcionar seguridad pasiva a los coches, a sus pasajeros y al equipo en el evento de una colisión.

Apoyado por un código finito explícito reconocido, nombrado Radioss, la filosofía del desarrollo del proyecto se compone básicamente de dos pasos principales:

a) Análisis preliminar - 1D - simulaciones: Bajo este paso, un modelo simplificado se utiliza para evaluar la energía y la distribución de esfuerzos en las zonas deformables del enganche y para determinar las características de los dispositivos de absorción de energía. Es también el alcance en esta fase para verificar las tasas medias de la desaceleración. Es decir usando elementos muy simples se hace un cálculo que permita investigar las energías implicadas en cada interfaz determinado del tren.

b) Análisis Final – Simulaciones 3D:

El segundo paso es basado en un detallado modelo de elementos finitos de los absorbedores de energía para certificarse que la cantidad de energía evaluada en las análisis 1-D se confirma.

Se garantiza así la deseada protección a los pasajeros y que la estructura se deforma como planeado. .



3 ENSAYOS ESTRUCTURALES

La norma considerada para la realización de ensayos estructurales de la caja es la EN12663, pero solamente son considerados los ensayos estructurales más críticos para la estructura de la caja.

3.1 ENSAYOS ESTÁTICOS

La norma EN12663 sugiere, por ejemplo, para ensayos de compresión 6 tipos de carga. De estos 6 niveles de cargas solamente el más crítico para la estructura será analizado. La verificación de la carga más crítica se realiza con la ayuda de los resultados del modelo de elementos finitos de la caja. Este mismo principio se aplica para los otros tipos de cargas.

De esta forma los análisis de prueba que serán realizados son los siguientes:

- ◆ Compresión de 800 kN en el nivel del enganche
- ◆ Carga vertical máxima
- ◆ Carga de levantamiento diagonal efectuada por dos apoyos de los gatos 70%/30%
- ◆ Carga de levantamiento frontal efectuada por dos apoyos de los gatos apoyados en el bogie

3.2 ENSAYOS DINÁMICOS

Los ensayos de fatiga no son necesarios porque hay datos de fatiga comprobados en el servicio y todas las juntas soldadas están de acuerdo con estos conceptos.

Los ensayos de vibración también no son necesarios porque son utilizadas soluciones ya comprobadas en servicio.

Los ensayos de impacto son opcionales y no serán ejecutados.