

**“ANÁLISIS DEL ESTADO TENSIONAL EN
DOMOS DE LA CALDERA ACUOTUBULAR
TIPO CVM2 RETAL, UTILIZADA EN LA
INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA”**

**“TENSIONAL ANALYSIS IN THE
WATER - TUBE BOILER DOME (CVM2)
USED IN THE CUBAN SUGAR CANE
INDUSTRY”**

Ing. Eusebio V. Ibarra Hernández*, Ing. Daismel Martí Safonts **, Dr. Jorge D. Bonilla Rocha*, Dr. Alejandro Duffus Scott****.**

(*) CEQA –Facultad de Ingeniería Química. UCLV, Santa Clara. Cuba.

()Departamento de diseño, Empresa de Construcciones Mecánicas. Santa Clara. Villa Clara. Cuba.**

(*) Facultad de Construcciones. Universidad de Ciego de Ávila. Ciego de Ávila. Cuba**

(**)CIS, Facultad de Ingeniería Mecánica, UCLV, Santa Clara .Cuba**

Resumen:

En el trabajo se destaca el domo como una de las partes fundamentales de las calderas de vapor acuotubulares y se realiza un breve estudio de estas.

Se realiza un estudio teórico, haciendo uso de diferentes códigos y normas, de las tensiones y esfuerzos a los que está sometido el domo durante su servicio, además se comprueban los resultados obtenidos durante el cálculo mediante el MEF (Método de Elementos Finitos.), y el ABACUS como programa de cálculo. La simulación de este elemento, permite visualizar el mapa de tensiones, pudiéndose detectar las zonas donde estas alcanzan sus máximos valores, zonas de mayor peligro, así como conocer si bajo los posibles escenarios de operación el diseño previsto garantiza un desempeño óptimo. Además el conocimiento del mapa de las tensiones resulta muy útil en el momento de la inspección para la detección de posibles lugares de falla. Esta simulación permite además optimizar el diseño y conocer el espesor límite en las zonas más solicitadas.

Palabras Claves: Domos en calderas, tensiones y esfuerzos, Método de Elementos Finitos

Summary:

A brief study about the water-tube boiler steam is realized in this work, outstanding the domes as one of the main components of this equipment. Making use of different codes and standards a theoretical study about the stress and strain in the domes of this kind of boilers is realized; moreover the obtained results by the theoretical methods are proved by means of Finite Elements Analyze (FEA). The stress map is visualized by the simulation of the domes, the stress map is a very important tool because let that the high tension zones are detected as well as to know if the foreseen design guarantee an optimal behavior, in addition the stress map is useful to the maintenance and design personal due to the allowed thickness in the more dangerous zones is knew.

Key Words: Domes in boilers, strain and stress, Finite Elements Analyze

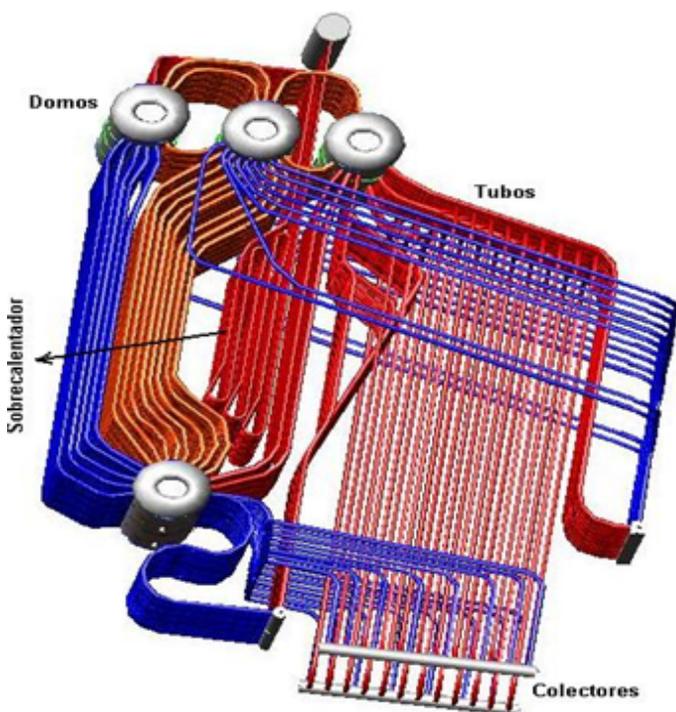
Introducción.

Las calderas acuotubulares figura 1 son generalmente medianas o grandes y están formadas por domos interconectados con tubos. Los tubos tienen la función de trasladar el agua a las zonas de absorción de calor y conducir la mezcla de agua-vapor hacia el domo, por ello, de hecho, constituyen la superficie de transferencia de calor. Los domos tienen la función de almacenar el agua y el vapor, y son fabricados de diámetros menores que los usados en las calderas de tubos de fuego, lo que permite incrementar las presiones de trabajo [1]. Estas calderas son las empleadas en la industria azucarera cubana

Fig.1. Caldera acuotubular, componentes críticos

Uno de los componentes críticos fundamentales de las calderas de vapor acuotubulares son los domos estos pueden ser inferiores o superiores en dependencia de su ubicación en la caldera, el inferior (o los inferiores) es el domo de sedimentos o de lodos y posee una válvula de purga para la descarga de los sedimentos o los concentrados de sales. Los superiores son domos de agua y vapor, aunque reciben el nombre de domos de vapor, en un momento dado alguno de ellos puede estar lleno de agua. Los separadores de vapor (elementos internos de los domos) eliminan el arrastre de humedad y precipitados, purificando el vapor.

Los domos, desde el punto de vista de la resistencia de materiales, se clasifican como bóvedas y son además, por la naturaleza de su trabajo, elementos sometidos a presión y temperatura. El cálculo de las bóvedas de revolución se realiza con la mayor simplicidad haciendo uso de la teoría membranar de bóvedas. La aplicación de esta teoría esta condicionada a la no existencia en la bóveda de cambios bruscos en su configuración, ni empotramientos rígidos y si, al mismo tiempo, no está solicitada por cargas o momentos concentrados, entonces podemos considerar que las tensiones que surgen en esta son constantes en el espesor y por lo tanto no hay flexión en la bóveda.



Luego de haber diseñado el domo de la caldera, haciendo uso de la ya conocida teoría membranaral de bóveda, se deben chequear las zonas donde esta teoría no se cumple, (zonas de concentración de tensiones o efecto de borde), digamos las regiones cercanas a los bordes de sujeción, alrededor de los orificios, en las zonas de los soportes, etc. Este chequeo lo realizamos haciendo uso de la teoría de los momentos, la cual tiene en cuenta el efecto de borde que surgen en la bóveda.

El conocimiento del estado tensional de este componente resulta de gran importancia tanto para el personal encargado de su diseño como para el especializado en su inspección y mantenimiento ya que permite garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de estos equipos, facilitándose el posible diagnóstico y pronóstico antes de que se produzcan las fallas, brindando la posibilidad de contribuir a la preservación del medio ambiente al evitar la ocurrencia de una falla catastrófica con posibilidades de originar un desastre ecológico.

Desarrollo

Las carga externas actuantes en los domos:

Estas pueden ser en función del modo de aplicación concentradas o distribuidas y tomando como base el tiempo de aplicación estáticas o dinámicas.

Las cargas, para los domos, se clasifican según, Dennis Moss [2] como sigue:

A). Categorías de cargas

1. *Cargas generales*- Aplicadas más o menos continuamente a través de la sección del domo.

- a)Cargas de presión:
- b)Cargas de momentos
- c)Cargas térmicas

2. *Cargas locales*- Debidas a la reacción en los soportes, aditamentos interiores, tuberías adicionadas, etc. Sobre el domo.

- a)Cargas radiales
- b)Cargas de cizallamiento
- c)Cargas de torsión
- d)Cargas térmicas

B). Tipos de Cargas

1. *Cargas estables*- Continuas, de largo tiempo de duración.

- a)Presión interna o externa.
- b)Peso muerto
- c)Contenido del recipiente
- d)Cargas debidas a tuberías y equipamientos

adicionados

e)Cargas hacia y desde los soportes del recipiente.

f)Cargas térmicas.

2. *Cargas no estables*. Variables; corto tiempo de duración.

- a)Pruebas hidráulicas de taller
- b)Terremotos
- c)Erección
- d)Transportación
- e)Problemas; emergencias.
- f)Cargas térmicas.

Arranques y paradas.

Tensiones que se originan en los domos producto de las cargas externas, tipos de tensiones.

El análisis de las tensiones se realiza en función de la relación entre las fuerzas externas aplicadas al domo y las tensiones correspondientes generadas por estas.

Tipos de tensiones.

La siguiente lista describe los tipos de tensiones, que pueden manifestarse en mayor o menor grado sobre el domo de estos tipos de calderas, sin tener en cuenta su efecto sobre el recipiente o sus componentes. Ellas definen una dirección de la tensión o están referidas a la aplicación de la carga.

- 1.Tracción
- 2.Compresión
- 3.Cizallamiento
- 4.Flexión
- 5.Empuje o apoyo
- 6.Axial
- 7.Membrana
- 8.Principal
- 9.Térmica
- 10.Tangencial
- 11.Circunferencial
- 12.Longitudinal
- 13.Radial
- 14.Normal

Clases de tensiones.

1)Tensiones primarias

a)General:

·Tensión primaria de membrana general.

·*Tensiones circunferenciales y longitudinales producto de la presión interna en el domo.*

·*Tensiones longitudinales debido a la flexión en el domo.*

·Tensión primaria de flexión general.

vTensión de flexión en los ligamentos de los orificios del domo espaciados a corta distancia.

vTensión de flexión en el centro de las tapas del domo.

b)Tensión local primaria.

vSe define como la suma de las tensiones primaria y secundaria de membrana bajo la acción de una carga sostenida. Se manifiesta en el domo de las siguientes formas:

2) Tensiones secundarias

a)Tensión secundaria de membrana

vTensiones térmicas.

vTensiones de membrana en la zona del rebordeo de las tapas del domo.

b)Tensión secundaria de flexión

vTensión causada por el peso del domo, por el peso del agua contenida en el y por el peso de los tubos acoplados.

3) Tensiones pico.

vIncremento adicional de las tensiones producto de la intensificación de estas en áreas muy puntuales.

vTensiones térmicas en la pared del domo debido a un cambio súbito en la temperatura de la superficie.

En el presente trabajo se analizará el domo de una caldera acuotubular del tipo CVM2 Retal, ampliamente empleada en nuestros Centrales azucareros.

Parámetros de trabajo:

§La presión de trabajo: 1.8 MPa

§La presión de prueba: 0.244 MPa

§Temperatura de trabajo: 206 °C.

Cálculo de las tensiones en el cuerpo del domo liso (domo sin agujeros): El cálculo se lleva a cabo tomando como base al código ASME [4], y los resultados obtenidos se muestran en la tabla resumen del cálculo de las tensiones en los diferentes domos. Cálculo de las tensiones en el cuerpo del domo con los agujeros.

La figura 2 muestra la *distribución de orificios en el domo inferior*, estos suman un total de 864, (16 líneas de 54 agujeros cada una) distribuidos de manera regular tanto en la dirección longitudinal [5]. (paso entre orificios constante de 150 mm), como en la transversal (paso entre orificios de 113,4 mm) además el diámetro es el mismo para todos; 76,8 mm.

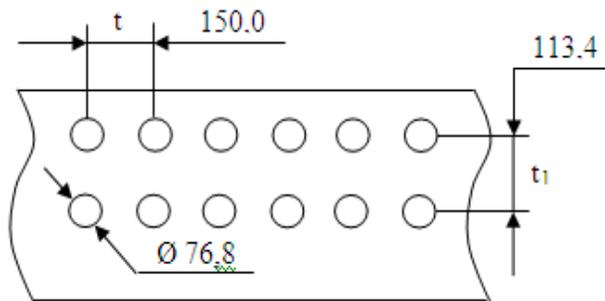


Fig.2. Distribución de orificios

Tabla resumen del cálculo de las tensiones, según código ASME, en los diferentes domos:

Domos	Domos lisos		Domos con agujeros	
	S _x (MPa)	S _φ (MPa)	S _x (MPa)	S _φ (MPa)
Superiores	23.9	50.3	48.8	102.6
Inferior	27.2	56.9	55.6	116.2

Tabla resumen del cálculo de las tensiones, según código ASME, en las tapas:

Tapa	X=300mm		X=400 mm	
	S _x (MPa)	S _φ (MPa)	S _x (MPa)	S _φ (MPa)
Tapa de 22 mm	39,4	19,8	34,8	9,7
Tapa de 25 mm	34,6	17,4	30,6	8,5

Tabla resumen de la verificación de las tensiones en la unión Domo – tapas. Según la teoría de los Momentos.

Elemento	Domo inferior			Domos superiores		
	σ _{m0} (MPa)	σ _{t0} (MPa)	σ _{máx} (MPa)	σ _{m0} (MPa)	σ _{t0} (MPa)	σ _{máx} (MPa)
Cilindro	20,5	40,2	40,2	18,0	12,0	33,8
Tapa	20,5	12,9	20,5	18,0	13,0	18,0

Análisis cualitativo de las distribuciones de tensiones en los domos de la caldera acuotubular, utilizando el MEF, y el ABACUS como herramienta computacional.

Análisis de los resultados:

Para la modelación de estos domos en el ABAQUS[3], como herramienta computacional, se utilizó un modelo lineal elástico[6,7], y las cargas que se tuvieron en cuenta fueron: la presión de prueba del domo, ésta se distribuyó de manera uniforme en el mismo, el peso del material del domo, está incluido en las propiedades del material del domo, y el peso del agua, para ello se asumió que la mitad

del domo estuviera llena de agua y la otra mitad de vapor, ver figura 3. Es importante aclarar que lo que interesa es hacer un análisis cualitativo de los resultados, es decir, chequear cuales son las principales zonas de concentración de tensiones, aunque la diferencia entre los resultados alcanzados por los cálculos teóricos y los obtenidos por MEF no rebasan el 10 %.

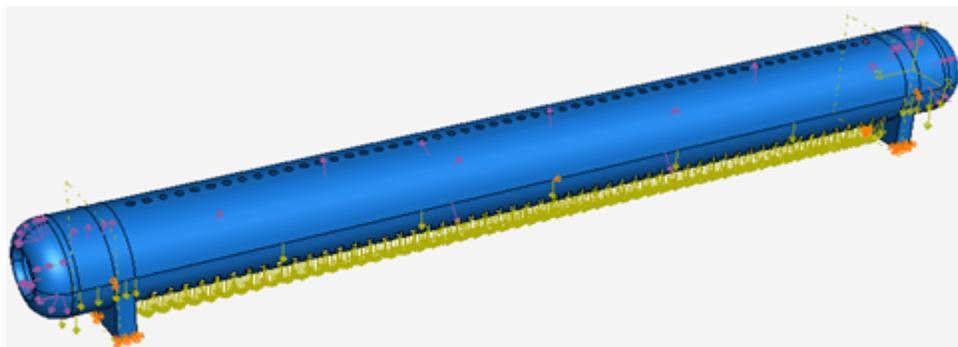


Fig. 3

Modelación del domo inferior liso:

En la figura 4 se muestra el mapa de distribución de tensiones y la escala de valores de estas tensiones en MPa. La modelación de este domo liso se realizó de forma simétrica.

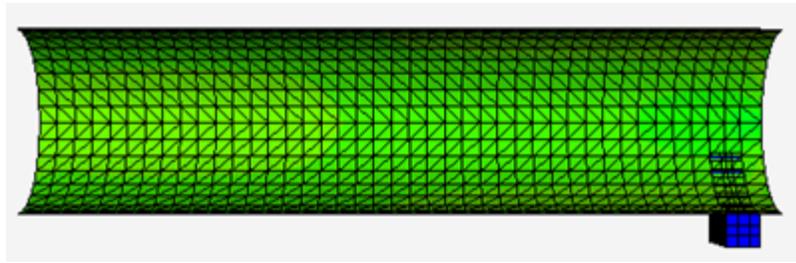
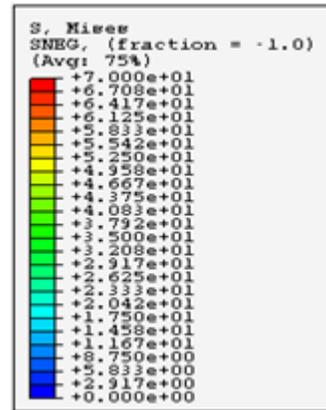


Fig. 4



Principales zonas de concentración de tensiones: La principal zona de concentración de tensiones es:
1. Las zonas entre agujeros, figura 5

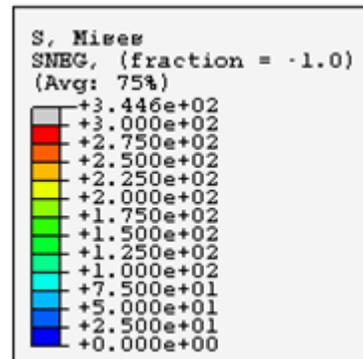
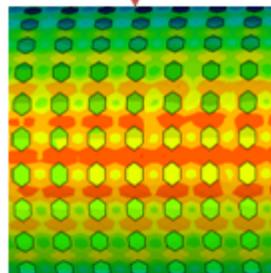
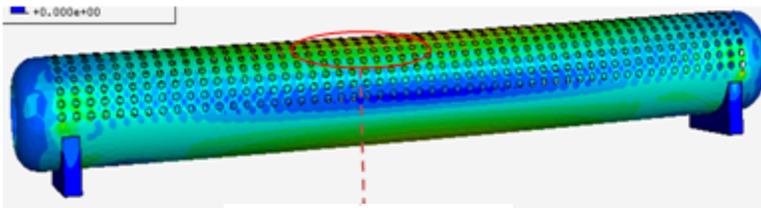


Fig. 5

Modelación de la tapa de los domos superiores (25 mm):

En la figura 6 se muestra el mapa de distribución de tensiones con su escala de valores en MPa

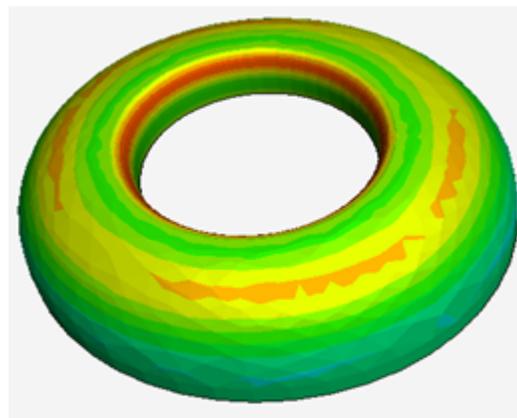
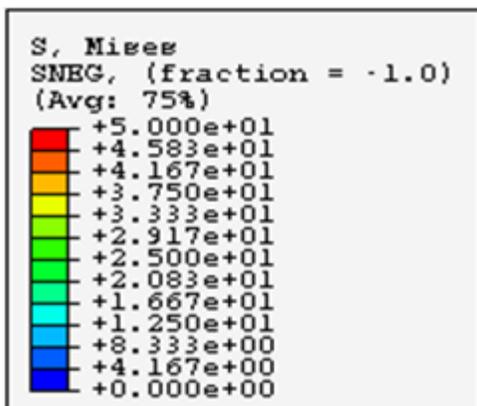


Fig. 6

Conclusiones generales:

1. Se aplicaron los métodos de cálculo definidos por el código ASME Sección VIII División I para determinar las tensiones teóricas en los domos de estas calderas.
2. Se realizó un análisis cualitativo, por medio del MEF, del estado tensional en los domos de las calderas de vapor acuotubulares
3. Se determinó el mapa de distribución de tensiones y los estados tensionales en los domos de las calderas de vapor acuotubulares.

Bibliografía.

1. Anibal B. Nordelo, Angel R. Gonzales, "Combustión y Generación de Vapor", 2007.
2. Dennis R. Moss, "Pressure Vessel Design Manual", 2004.
3. ABACUS / CAE Version 6.4. 2003
4. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII Division I. 2003
5. Y. H. Diu, B. S. Zhang, M. D. Xue y Y. Q. Liu. Limit pressure and design criterion of cylindrical pressure vessels with nozzles, International Journal of Pressure vessels and Piping, 81:619-624, 2004.
6. Ing. Marial Laura Godoy, Ing. Luis María Arrien. Influencia de discontinuidades en el estado tensional de recipientes sometidos a presión. Mecánica Computacional Vol XXV, pp. 641-649 (Eds) Santa Fe, Argentina, Noviembre 2006.
7. Patricia M. Ciancio, María L. Godoy, Luis M. Arrien. Recipientes a presión: evaluación del estado tensional a partir de datos experimentales Mecánica Computacional Vol. XXIII G. Buscaglia, E. Dari, O. Zamonsky (Eds.) Bariloche, Argentina, November 2004.